



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

**MONITOROVACÍ SYSTÉM PRO ZJIŠTĚNÍ MOTILITY A  
POLOHY LABORATORNÍCH ZVÍŘAT PO ANESTÉZII**

MONITORING SYSTEM FOR DETECTING THE MOTILITY AND POSITION OF LABORATORY ANIMALS  
AFTER ANESTHESIA

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Ing. Amir Enikeev

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Vratislav Čmiel, Ph.D.

**BRNO 2019**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Biomedicínské a ekologické inženýrství**

Ústav biomedicínského inženýrství

**Student:** Ing. Amir Enikeev

**ID:** 192488

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2018/19

## NÁZEV TÉMATU:

### **Monitorovací systém pro zjištění motility a polohy laboratorních zvířat po anestézii**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Zabývejte se možnostmi a používanými způsoby bezkontaktní detekce polohy laboratorního potkana nebo myši v úzkém výběhu s průhledným krytem. Seznamte se s konkrétním provedením výběhové komory pro laboratorního potkana. 2) Navrhněte vhodný monitorovací systém pro bezkontaktní detekci pohybu a pozice potkana. Berte ohled na provedení monitorovacího systému, který nemůže způsobovat dodatečný stres monitorovanému zvířeti. 3) Monitorovací systém realizujte. Zajistěte, aby byl schopen fungovat v reálném čase a zvládal rozlišit standardní motilitu a sníženou motilitu potkana po inhalaci anestetika. 4) Navrhněte vhodný zástupný předmět, který by simuloval živého potkana a jeho pohyb. Monitorovací systém ověřte. Následně vyzkoušejte detekci za reálných podmínek u živého potkana. 5) Monitorovací systém rozšiřte o dlouhodobý záznam dat a statistické vyhodnocování jeho motility s možností rozlišení zvířete zdravého a zvířete s indukovaným poškozením. Měřicí systém otestujte. 6) Získané poznatky diskutujte.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BRENNEIS, Christian, et al. Automated Tracking of Motion and Body Weight for Objective Monitoring of Rats in Colony Housing. Journal of the American Association for Laboratory Animal Science, 2017, 56.1: 18-31.

[2] COIRO, Michael A.; MILLER, Steven J.; CURTIN, David L. Remote animal cage environmental monitoring and control system. U.S. Patent Application No 11/473,171, 2007.

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 12.8.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Vratislav Čmiel, Ph.D.

**Konzultant:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## ABSTRAKT

Tato Diplomová práce, která nese název „Monitorovací systém pro zjištění motility a polohy laboratorních zvířat po anestézii“, se zaměřuje na návrh a realizaci bezkontaktní detekce polohy laboratorního potkana nebo myši ve výběhu s průhledným krytem. Práce si klade za cíl nalézt vhodné metody realizaci bezkontaktní detekce polohy laboratorního potkana nebo myši a automaticky určit a zobrazit průměrnou rychlost nebo jiné charakteristiky pohybu. Zadání vzešlo z potřeb monitoringu zvířat po kurativním zásahu a také jako potřebná utilita pro budoucí „stínování“ pohyb zvířete (automatické cílení na jizvu na zádech zvířete).

Potkan, který je umístěný uvnitř našeho výběhu je buď standardně pohyblivý nebo je omámen po anestézií. V této práci se zabývám nejprve rešerší automatických monitorovacích systémů pro detekci polohy zvířat ve výběhu. Pak v praktické části jsou testovány tři typy kamer pro obrazovou detekci polohy potkana a je navrhnut skript pro automatickou detekci a analýzu pohybu potkana.

Systém funguje jako kamerové oko které v reálném čase v svém zorném poli schopno najít plochu černého boxu následně omezit analyzovanou plochu detekce (dno boxu) a následně v omezeném prostoru automaticky detekuje těžiště zvířete a vypočítává trasu, kterou v čase realizuje ten bod, ukládá souřadnice pohybujícího se těžiště každých sekund a z toho vypočítává průměrnou rychlost zvířete. Na základě vývoje průměrné rychlosti systém také hlasí na obrazovce stav zvířete (dle empiricky získaných charakteristik pro anestetikovaného, postiženého nebo zdravého potkana). Vytvořený systém detekuje bílé zvíře v černém chovném boxu, bez nutnosti doplňkového označení zvířete.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Sledování polohy zvířete, detekce pohybu živých objektu v reálném čase, detekce životních funkcí, počítačové vidění, segmentace obrazu, sledování laboratorních zvířat .

## ABSTRACT

This diploma thesis, entitled "Monitoring System for Determination of Motility and Position of Laboratory Animals After Anesthesia", focuses on the design and implementation of contactless detection of the position of a rat or mouse in an enclosure with a transparent cover. The aim of the semester work is to find suitable methods of realization of contactless detection of rat or mouse position and to automatically determine and display average speed or other movement characteristics. The assignment arose from the needs of animal monitoring after curative intervention and also as a necessary utility for future "shading" animal movement (automatic targeting of the scar on the animal's back).

The rat, which is located inside our enclosure, is either moving as standard or is dazed after anesthesia. In this work I deal first with search of automatic monitoring systems

for detection of animals in the enclosure. Then in the practical part are tested three types of cameras for visual detection of rat position and a script for automatic detection and analysis of rat movement is designed.

The system works like a camera eye which in real time is able to find the area of a black box in its field of view and then limit the detection area to the size of this box and then automatically detects the center of gravity and counts. and evaluates the obtained speed with an average calculated with a test of 10 mice - voices on the screen the mouse status in the previous ten seconds. for no stressed animal.

## **KEYWORDS**

Animal position tracking, realtime motility detection of living organism, detection of life function, computer vision, image segmentation.

## **Bibliografická citace:**

### **Citace tištěné práce:**

ENIKEEV, Amir. *Monitorovací systém pro zjištění motility a polohy laboratorních zvířat po anestézii*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/118364>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Vratislav Čmiel.

### **Citace elektronického zdroje:**

ENIKEEV, Amir. *Monitorovací systém pro zjištění motility a polohy laboratorních zvířat po anestézii* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/118364>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Vratislav Čmiel.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, svou diplomovou práci na téma Monitorovací systém pro zjištění motility a polohy laboratorních zvířat po anestézii jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl

nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000

Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých

zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vratislavovi Čmielovi, Ph.D. a Mgr. Josefu Skopalíkovi, Ph.D. za směřování a pomoc při studování tématu a užitečné rady a poznámky při testech systému a zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# Obsah

1. Uvod.....	1
2. Laboratorní potkan a jeho využití.....	2
2.1 Sledování polohy potkana .....	3
2.2 Ozařování a trasování laboratorního zvířete .....	3
2.3 Ozařování v lineárním tubusu .....	3
3. Detekce polohy zvířete .....	5
3.1 Detekce polohy objektů bez použití kamery.....	5
3.1.1. Optická brána.....	5
3.1.2. Ultrazvukový monitoring polohy malých objektů.....	6
3.2 Detekce polohy objektů s použitím kamery a kombinovaných systémů.....	7
4. Návrh detekce laboratorních potkanů .....	9
4.1. Přehled pojmů pro tvorbu analytického softwaru.....	9
4.1.1 Rastrový obraz .....	9
4.1.2 Geometrické transformace .....	9
4.1.3 Plošná transformace .....	9
4.1.4. Segmentace obrazu .....	10
4.1.5. Binární prahování .....	10
4.1.6 Nalezení Hran .....	11
4.1.7 Geometrické momenty .....	11
4.2 Nástroje pro zpracování videa .....	14
4.2.1 Image Acquisition Toolbox .....	14
4.2.2. OpenCV .....	15
5. Praktická část .....	16
5.1. Návrh monitorovacího systému .....	16
5.1.2 Popis optických podmínek v chovném zařízení a použitých technických pomůcek pro realizaci snímků.....	17
5.1.3 Výroba zástupného objektu .....	19
5.1.4 Blokové schéma pro tvorbu programu.....	20
5.2 Realizace softwarové části systémů na sledování potkana.....	22
5.2.1 Realizace části softwaru na předzpracování .....	22
5.2.2 Realizace části software na detekci, sběr statistiky a nalezení stavu .....	26
5.2.3 Výpočet polohy těžiště.....	30
5.2.4 Hlášení chyby .....	32
5.2.5 Ukládání dat.....	32
5.3 Kalibrace .....	32
5.3.1 Kalibrace správnosti nalezení stavu zvířete .....	34
5.3.2 Kalibrace měření vzdálenosti cesty potkana.....	35
5.3.3 Testování správnosti detekci bílého potkana .....	39

5.3.4 Testování správnosti detekce potkanů s barevným pigmentem .....	40
6. Výsledky .....	41
6.2 Zobrazování celkové trajektorie a srovnání trajektorie pro zdravého nebo ovlivněného potkana. ....	41
7. Diskuze a závěr .....	43
8. Demonstrace systému z pohledu uživatele .....	46
Citovaná literatura.....	50
Přílohy.....	56



# Seznam tabulek

Tab.1 Testování nalezení těžiště.....	34
Tab.2 Průměry rychlosti potkanův a konečný práh pro nalezení motility.....	35
Tab.3.Srovnání reálné hodnoty vzdálenosti a vypočítaného ze sledování bodu těžiště. ....	36
Tab.4 Srovnání po úpravě reálné hodnoty vzdálenosti a vypočítaného ze sledování bodu těžiště. .....	37
Tab.5 Testování nalezení stavu potkana.....	38
Tab.6.Statické výsledky měření motilit potkanův .....	42

# 1.Úvod

V dnešní době je testování na živých zvířatech klíčovou metodou v medicínských a farmaceutických vědách. Je to stále nezastupitelná metoda pro selekci nových léků pro člověka a sledování terapeutických výsledků nových metod. Analýza pohybu zvířat je poměrně novým analytickým nástrojem, který přináší nové poznatky do animálních experimentů, zejména do hodnocení progresu a léčby ortopedických a neurodegenerativních chorob.

Hlavními cíli diplomové práce byla rešerše metod bezkontaktní detekce polohy laboratorních zvířat a navrhnutí komplexního hardwarového a softwarového řešení pro sestavení vhodného monitorovacího systému pro bezkontaktní detekci pohybu potkana (tak, aby monitorovací systém nezpůsoboval při dlouhodobém použití stres zvířete). Monitorovací systém by měl fungovat v reálném čase (tj. výstup souřadnic x-y polohy zvířete by měl být k dispozici okamžitě pro další použití, např. pro veterinární aplikace jako ozařovací robotická ruka). Monitorovací systém by měl být lehce aplikovatelný na standardní plastové nebo papírové chovné boxy používané v Evropských laboratořích. Doplnkovým cílem práce bylo také doplnění monitorovacího systému o dlouhodobý záznam dat (např. na výstupu jednoduchý csv soubor nebo grafický soubor s trajektorií) pro základní statistické vyhodnocování motility zvířete nebo různých variant nemocného zvířete.

Detekce živého zvířete v reálném čase není jednoduchá. Větší část práce zabraly předběžné testy kamer a detektorů, většina výsledků předběžných testů a jejich srovnání s publikovanými obdobnými testy je zařazena do kapitol 4.6 až 4.8. Následně po volbě optimální kamery bylo nutno se vypořádat s problémy obstarání softwarů pro analýzu obrazu (často oproti informacím výrobce neměly dobrou konektivitu s kamerou nebo vyžadovaly doplňky a knihovny, které nebylo možno v ČR získat). Po prvním semestru řešení byl vybrán postup vytvoření detekčního softwaru v programovacím prostředí Matlab, ale řešení bylo nakonec vyhodnoceno jako nevhodné (z důvodu slabé funkčnosti a finanční náročnosti pro obstarání knihoven softwaru pro zpracování videa v reálném čase). Pak byl zvolen nový přístup - jako optimální programovací prostředek se ukázala kombinace jazyku Python a knihovny počítačového vidění OpenCV. Navrhnutí, testování a kalibrace softwarové části systému fungující v reálném čase a s minimálním časovým zpožděním (v řádu desetin sekund) a finální nastavení kamerového systému pak byly náplní posledních dvou měsíců práce, což je shrnuto v kapitolách 5 a 6.

## 2. Laboratorní potkan a jeho využití

Laboratorní potkan (*rattus norvegicus*) je velmi široce používaným modelovým organismem ve výzkumu i v kontrolních laboratořích průmyslového provozu. V biologických a veterinárních laboratořích se začal využívat od 19. století. Nejpočetnějším organismem ve výzkumných laboratořích je sice stále laboratorní myš (*mus musculus*), potkan je však druhé nejužívanější laboratorní zvíře [1]. Nejčastěji se používá potkan ve věku 8 až 12 týdnů [2]. Škála použití laboratorních potkanů je velmi široká: od testování toxicity nových chemických přípravků (například saponáty, hnojiva, aditiva potravin a nápojů), přes testování škodlivosti moderních fyzikálních a chemických agens (radioaktivní záření, bojové plyny, anestetika, odpuzovače hlodavců), až po testy nových farmakologických látek vyvíjených farmaceutickými firmami nebo testy nových metod operací [3]. Velmi moderním využitím je taky testování základní inteligence, výzkum procesu rozhodování a výzkum faktorů stimulujících inteligenci a rychlost rozhodování (obecně tzv. kognitivních funkcí)[4]. Laboratorní studie na potkanech se označují často jako “preklinické testování”, neboť tyto laboratorní testy většinou předcházejí pilotním testům na dobrovolnících v klinických studiích. Pro efektivní testování farmaceutických přípravků a přístrojů nebo fyzikálních procedur se často laboratorním potkanům indukuje určité onemocnění nebo patologie. Často se indukuje například diabetes, nádorové onemocnění, nebo různá neurodegenerativní onemocnění. Často se indukují také zlomeniny (pro výzkum regenerativních látek a ortopedických pomůcek), jizvy na kůži (pro výzkum urychlovačů hojení), nebo ischemie určitých partií svalů nebo kůže. Potkan je poměrně dobrým modelovým organismem i pro anatomii a funkční biologii člověka. Potkan je vhodný na experimenty zejména z ekonomického důvodu. Je mnohonásobně levnější než králíci a velká zvířata. Velmi snadno se také v laboratoři množí. Potkan si poměrně dobře zvykne na přítomnost laboranta, pokud není stresován, nebojí se člověka. Jeho chov je nenáročný na prostor (bez jakéhokoli stresu jsou schopni přežívat na prostoru cca 50 x 30 cm po většinu života) a na vybavení chovných klecí (postačuje pítka na vodu, pravidelný přísun granulovaného krmiva a čistého steliva)[3]. V minulých desetiletích se vyskytla řada hnutí a podpisových akcí na zákaz laboratorního chovu potkanů a zákaz experimentů na potkanech. Je zde v posledních letech snaha omezit zbytečné experimenty a státní úřady ve všech zemích mají stále přísnější dohled nad oprávněností experimentů [1]. Nicméně pro realizaci výzkumu řady onemocnění, farmakologických látek a fyzikálních léčebných procedur budou experimenty na potkanech ještě určitě dlouho základní metodou a v dohledné době je nenahradí ani moderní *in silico* modelace.

## 2.1 Sledování polohy potkana

Jak již bylo řečeno v úvodu, sledování polohy potkana je poslední době poptáváno veterinárními lékaři a experimentátory z řady chovných laboratoří. Právě exaktní kvantitativní vyhodnocení pohybu může přinést dobrá dodatečná data pro hodnocení léčiv nebo vývoje onemocnění v oblasti ortopedických i neurodegenerativních chorob. Experimenty systému na bezkontaktní sledování polohy potkana zahrnuté v této diplomové práci byly z velké části provedeny na ve zvířetníku VUVeL Brno nebo SAV ve shodě s r projektem pokusů probíhajících regenerativních a ortopedických studií a bez jakékoli indukce stresu nad standartní úroveň chovu.

## 2.2 Ozařování a trasování laboratorního zvířete

Cíl práce se odvíjí od potřeb veterinárních lékařů zabývajících se kožními jizvami a nádory, kteří aktuálně používají laboratorní potkany a testují na nich aplikaci ozařování. Ozařováním se lékaři snaží zacílit na přesně definovanou plochu jizvy (nejčastěji uprostřed hřbetu zvířete) nebo na „střed“ zvířete. Standardně je potkan v chovném zařízení umístěn v boxu o rozměrech cca 50 x 50 cm (viz Obr. 4), nasměrování ozařovací hlavičky na pohybujícího se potkana je tedy poměrně problematické.

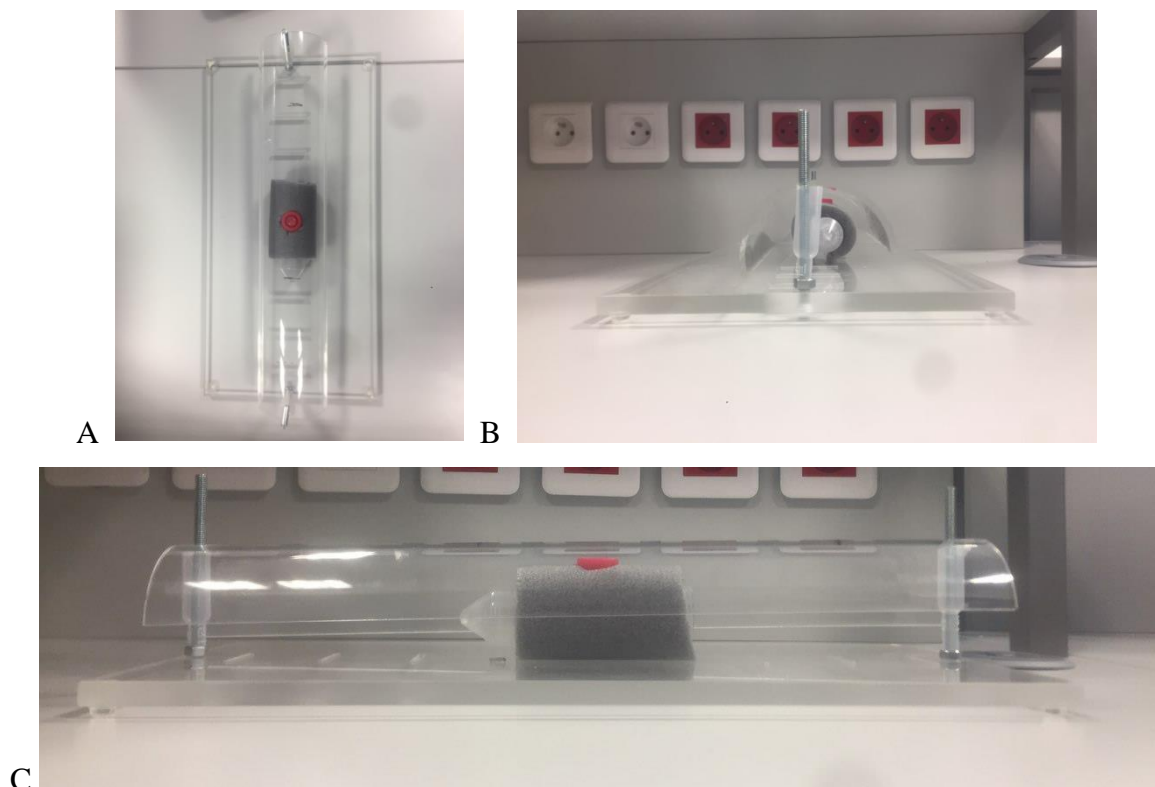


Obr. 4. Chovné boxy

## 2.3 Ozařování v lineárním tubusu

Veterinární specialisté při tvorbě zadání diplomové práce zmínili také atypické chovné boxy, které nárazově používají pro některé specifické aplikace. Příkladem je úzká fixační trubice, která nachází uplatnění hlavně při potřebě koncentrace ozařovací dávky. U této fixační trubice (viz **Error! Reference source not found.**) plánuji používat režim, kdy potkan je vložen dovnitř na

dobu 1h denně. Pro tuto trubici je také třeba vyvinout snímací hardware a software, který by realizoval měření přesné polohy potkana (ideálně těžiště nebo vyznačené jizvy) a také by v reálném čase tuto informaci o poloze předal (např. ke komerčnímu automatickému posuvníku ozařovací aparatury, která by měla co nejlépe sledovat jizvu nebo nádor a aplikovat dávku záření neustále z co nejmenší blízkosti po dobu 1 hodiny).



Obr. 5. Lineární tubus pro potkana. A – pohled shora, B - Trubice (zepředu), C - Trubice (z boku). Šedý válec = geometrický model těla potkana, červená plocha = geometrický model jizvy (shora)

### **3. Detekce polohy zvířete**

Detekce polohy zvířete může být obecně v chovném provozu nebo laboratoři provedena použitím různých metod, v této diplomové práci a při rešerši před vlastním technickým návrhem nás zajímají jen bezkontaktní metody, které mohou být realizované jako:

- a) Detekce polohy zvířete bez použití kamery
- b) Detekce polohy zvířete s použitím kamery a reflexních prvků umístěných na těle zvířete
- c) Detekce polohy zvířete s použitím spojitých kamerových systému (kamery pracující ve viditelném spektru spolu s infra-kamerami a kinetickými sensory) a reflexních prvků umístěných na těle zvířete nebo pomoci GPS senzorů
- d) Detekce polohy zvířete, kde je použit jenom kamerového systému, přičemž výpočet polohy je založen jen na obrazovém zpracování

V následujících podkapitolách bude uveden přehled zmíněných systému objevujících se v dosud v literatuře a budou okomentovány vybrané nejvhodnější principy metod pro náš účel definovaný veterinárními lékaři.

#### **3.1 Detekce polohy objektů bez použití kamery**

Detekce polohy živých objektu lze provést pomocí bezdrátových senzorů[26], nebo přístrojů uvedených níže.

##### **3.1.1. Optická brána**

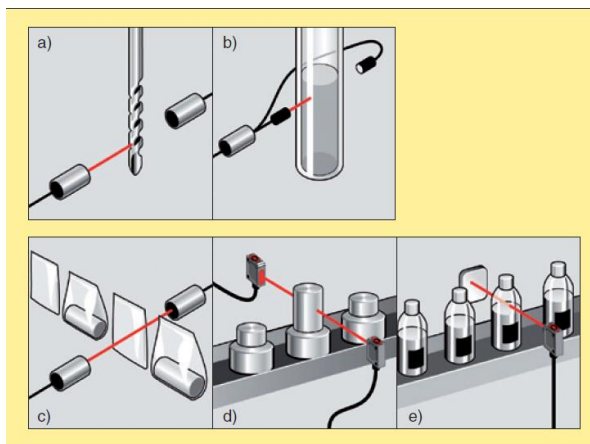
Optická brána (nebo také optická závora) je jeden z nejpoužívanějších detektorů polohy snímání předmětu, který se používá pro velké množství aplikací – například pro automatizaci výrobních procesů. Existuje hodně velké množství různých druhů optických závor. Níže jsou příklady několika z nich:

##### **Jednocestná Optická závora**

Takový druh brány se skládá z vysílající a přijímací jednotky (viz obr.1a-d), jednotky jsou umístěny na opačných stranách snímací cesty. Snímaný objekt přerušuje světelný paprsek mezi vysílačem a detektorem – tím způsobuje vznik binárního signálu na přijímací objekt. Tento typ optické závory je dobrý do nepříznivého prostředí.

## Reflexní optická závora

Vysílač a detektor u reflexních optických závor jsou umístěny v jedné rovině ve stejném pouzdru a na opačné straně snímací cesty je umístěn odražeč, který odrazí světelný paprsek nazpět do detektoru. Snímaný objekt přeruší světelný paprsek, který byl odražen a tím způsobí změnu stavu signálu detektoru.



Obr. 6. Druhy optických závor: a)-d) Jednocestná optická závora, e) Reflexní optická závora. [50]

### 3.1.2. Ultrazvukový monitoring polohy malých objektů

Příkladem moderního ultrazvukového monitorovacího modulu je modul s názvem HC-SR04, který je výrobcem definován jako speciální rozšíření pro Arduino (Obr. ) a jiné desky je ultrazvukovým měřičem vzdálenosti. Na této desce se nachází ultrazvukový vysílač a přijímač a taky obvody pro doplňkové vyhodnocovací a komunikační funkce zařízení.



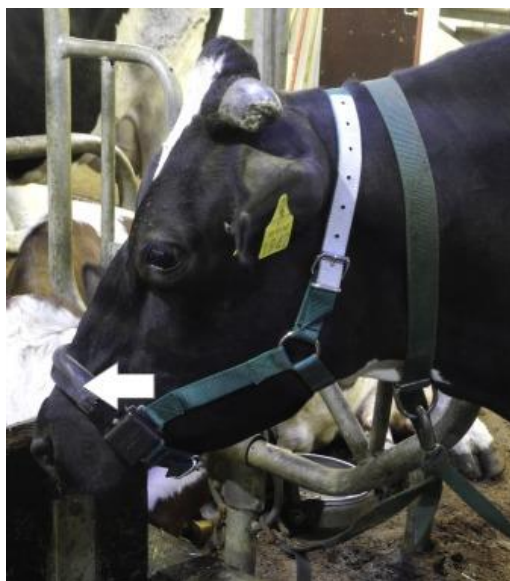
Obr. 7 : Ultrazvukový detektor přiblížení. [48]

Tento modul HC-SR04 nám dává možnost detekovat předměty ve vzdálenosti v rozmezí 2cm až 4 metry (největší přesnost – první 2 metry), pracovní úhel detekce je kolem 15 stupňů. [6].

Princip toho monitorovacího modulu spočívá v tom, že ultrazvukový vysílač vyšle vysokofrekvenční akustický pulz (40kHz) a pulz se šíří od vysílače k předmětu určitou dobu

(závislou na vzdálenosti) a určitou stejnou dobu nazpět a po tomto časovém intervalu nastává jeho zachycení ultrazvukovým detektorem, nakonec spočítá na základě rychlosti zvuku vzdálenost od objektu.

Podobné ultrazvukové detektory se v posledních letech používají například jako senzor přiblížení, který je součástí tzv. parkovacích asistentů [7]. Pomocí tohoto senzoru se vyhodnocuje, jak daleko je od zadního nárazníku stěna nebo jiný zaparkovaný automobil a hodnota vzdálenosti se v reálném čase ukazuje řidiči na palubní desce. Obdobné malé ultrazvukové detektory se používají i při detekci vzdálenosti krav nebo jiných velkých zvířat (pasoucích se na pastvinách nebo v oborách) od napájecího žlabu nebo koryta s krmnou směsí, zařízení pak vyhodnocuje kolikrát přišlo zvíře za den do těsné blízkosti žlabu [8].



Obr. 3 : Ultrazvukový detektor přiblížení zvířete ke žlabu. [49]

Ultrazvuková zařízení jsou dnes již poměrně levná, ale problém je v tom, že mají poměrně úzký úhel detekce a jsou tak vhodná jen pro základní měření v jednom směru (překážka za autem, vzdálenost krávy přicházející ke korytu) nikoli však k přesnému měření polohy zvířete nebo objektu v x-y dvourozměrné ploše. Dále je také problémem, že vysílaný vysokofrekvenční pulz je tlumen řadou materiálů a bude jej například tlumit srst potkana.

### **3.2 Detekce polohy objektů s použitím kamery a kombinovaných systémů**

Byla provedena rešerše pro analýzu již publikovaných systémů na monitorování polohy zvířat nebo osob, souhrn rešerše je uveden v Příloze A (na konci práce). Tabulka uvádí u publikovaných systémů jejich základní princip detekce pohybu a rozlišovací princip motility



různých živých objektů a uvádí dále typ kamer, funkčnost systému v reálném čase a hodnocení, zda systém způsobuje dodatečný stres nebo nevykazuje způsobení stresu.

V tabulce je také uvedeno, jak uvedený analytický systém funguje - tj. zda v reálném čase nebo až po delším čase od nasnímání dat.

V tabulce je rozebráno 40 systémů na zjištění polohy pomocí kamerových a kombinovaných. Jen 12 prací ([12],[18],[22],[23],[32],[36],[37],[38],[40]) z tabulky pracuje v reálném čase. Jedna z nich [22] způsobuje dodatečný stress. Ani jedna z nich není zaměřena na rozlišování typu motilit potkana.

## 4. Návrh detekce laboratorních potkanů

Po prostudování odborných článků k dané tématice (viz tabulka v Příloze A) jsem zjistil, že zatím nikdo v literatuře ani komerčních prezentacích nepopisuje pro zvíře o velikosti potkana vhodnou detekční soustavu pro účel definovaný veterináři v úvodu této mé práce (čili soustavu detekující pohyb a předkládající data uživateli v reálném čase a zároveň mající schopnost statisticky kvantifikovat pohyb a rozlišit různé typy motilit nebo patologických stavů zvířete). Jako nejvýhodnější se jeví realizovat monitorovací systém na základě kamerového systému; a to s kamerou nad výběhem (boxem), tak aby shora byla dobře patrná jizva na zádech potkana, na kterou veterinární lékaři kladou důraz. Jiné principy detekce pohybu předmětu (optická zátvara a ultrazvukové čidlo přiblížení) nejsou tedy pro tuto práci dobře použitelné pro přesnou lokaci centra zvířete nebo malé jizvy.

Pokusím se tedy v praktické části o detekování pohybu na základě zpracování videosekvence o určité snímkovací frekvenci a poloha centra potkana nebo jizvy bude pomocí analytického softwaru určována v reálném čase, budou představeny metody výpočtů v prostředí Matlab (použitím image Acquisition toolboxu) nebo OpenCV knihovny (Open Source Computer Vision)[62].

### 4.1. Přehled pojmů pro tvorbu analytického softwaru

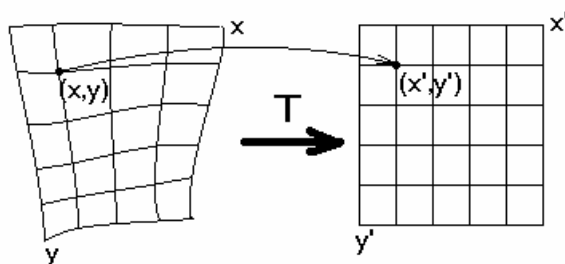
V následujících podkapitolách bude zobrazen přehled pojmů, které budou použité pro vytvoření softwarové části sledujícího systému.

#### 4.1.1 Rastrový obraz

Rastrový anebo bitmapový obrázek je popsán pomocí jednotlivých barevných bodů (pixelů). Body jsou uspořádány do mřížky. Každý bod má určen svou přesnou polohu a barvu (např. RGB). Tento způsob popisu obrázků používá např. televize nebo digitální fotoaparát. Kvalitu záznamu obrázku ovlivňuje především rozlišení a barevná hloubka. [54]

#### 4.1.2 Geometrické transformace

Geometrická transformace slouží k odstranění geometrických zkreslení – zkosení ve snímané ploše



Obr. 6. Geometrické transformace. Ilustrace převzata z [54]

### 4.1.3 Plošná transformace

Plošná transformace najde k bodu  $(x,y)$  ve vstupním obraze odpovídající bod ve výstupním obraze  $(x',y')$

Zpětná transformace  $T$  může být rotace, translace, zkosení, zvětšení.

Transformujeme na základě znalosti původního i transformovaného obrazu – v lícovacích bodech, např. aproximace polynomem  $n$ -tého řádu + metoda nejmenších čtverců [54].

### 4.1.4. Segmentace obrazu

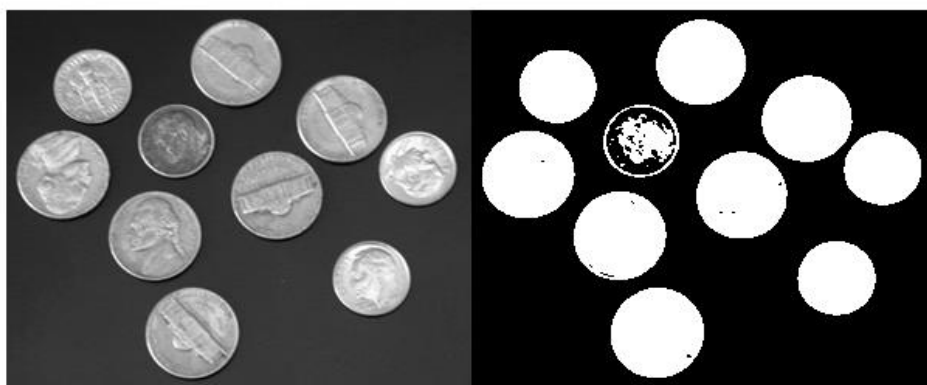
Segmentace obrazu je metoda, nebo spíše skupina metod postavených na různých principech, digitálního zpracování obrazu, která slouží k automatickému rozdělení vlastního obrazu na oblasti se společnými vlastnostmi a které obvykle mají nějaký smysluplný význam. Typickým cílem segmentace obrazu je identifikace potřebné části obrazu a určení oblastí v obraze odpovídajícím významnému prvku zachycené scény.

Výsledky segmentace jsou využitelné například v počítačovém vidění, zpracování lékařských obrazových dat nebo při analýze obrazů získaných při dálkovém průzkumu Země [55].

### 4.1.5. Binární prahování

Jednoduchou a nejvíce používanou metodou pro získání binárního obrazu z víceúrovňového obrazu je prahování. Hlavním principem je nastavení takové hodnoty  $T$  (práh, z angl. Threshold), aby pro ni platilo, že pixely, které mají nižší hodnotu jasu a pixely o vyšší hodnotě objektu. Takhle transformace na získání binárního obrazu  $G$  ze šedo tónového obrazu  $I$  je označena vztahem :

$$G(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } I(i,j) \geq T, \\ 0 & \text{pro } I(i,j) < T. \end{cases} \quad (1)$$



Obr. 7: Původní šedo tónový obraz po prahování při volbě globálního prahu  $T = 180$ [56]

Následně obraz  $G$  je rozdělen na pozadí a oblast detekovaného objektu z původního obrazu  $I$ . Prahování je rychlý způsob na segmentaci, což je výhodou pro zpracování videosekvencí v reálném čase.

#### 4.1.6 Nalezení Hran

Nalezení obrysu v knihovně OPenCV je realizováno podle algoritmu strukturneho topologickeho analyzu binarnych obrazu sledovanim hranice [73].

Pomoci algoritmu strukturneho topologickeho analyzu binarnych obrazu sledovanim hranice

#### 4.1.7 Geometrické momenty

Momenty jsou užitečné pro nalezení těžiště geometrického objektu. A je realizován:

Pro 2D spojitou funkci  $f(x, y)$  je okamžik (někdy nazývaný „hrubý moment“) řádu  $(p + q)$  definován jako [69]:

$$m_{pq} = \iint_{-\infty}^{+\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (3)$$

Hodnoty geometrických momentů určují zajímavé charakteristiky v daném obraze. Například moment  $m_{00}$  je „hmotnost“ obrazu (pro binární obraz se jedná o plochu objektu). Podíly momentů prvního řádu  $m_{10}$  a  $m_{01}$  s momentem  $m_{00}$  určují střed těžiště pro  $x$  a  $y$ :

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, (4)$$

$$y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}, (5)$$

Hodnoty  $x_c$  a  $y_c$  se nazývají centroidy a jsou používány pro výpočet centrálních momentů (viz. Centrální momenty). Druhé řády momentů  $m_{20}$   $m_{02}$  určují „rozdělení hmotnosti“ obrazu s ohledem na souřadné osy [4]. Protože obraz je však diskretní jasová funkce, používá se pro výpočet geometrických momentů předpis:

$$m_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N x^p y^q I(x, y), (6)$$

Pokud se podrobněji podíváme na tento vztah, je patrné, že při určování hodnoty momentů se počítá s každým pixelem obrazu. Časová složitost samotného výpočtu je tedy OMN. Jestliže je třeba určit přesnou hodnotu z navzorkovaného signálu, nelze tuto hodnotu snížit. Výpočet v rychlejším čase je možné realizovat za cenu ztráty. Efektivně lze momenty určit, pokud máme vstupní obraz již předem zpracovaný. Tato práce se zabývá výpočtem s využitím dekomponovaných dat. V případech, kdy jsou vstupní data vhodně rozčleněna na oblasti popisující popředí a pozadí objektu, většinou dosahujeme lepší časové složitosti.

Dalším typem momentů, se kterými se v praxi můžeme často setkat, jsou centrální momenty. Jak bylo uvedeno dříve. Určují se z geometrických momentů  $m_{00}$ ,  $m_{10}$  a  $m_{01}$  :

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, (7)$$

$$y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}, (8)$$

Při určených hodnotách těžiště lze pro výpočet samotných centrálních momentů použít upravený vzorec pro určení geometrických momentů:

$$c_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (x - x_c)^p (y - y_c)^q I(x, y), (9)$$

Je vhodné podotknout, že takto získané momenty jsou invariantní vůči transformaci posunutí (angl. translation) obrazové funkce  $I$ .

V případě, kdy je známo více hodnot geometrických momentů, můžeme centrální momenty dopočítat z nich, při využití sady předpisů 2 :

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, (10)$$

$$y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}, (11)$$

$$c_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (x - x_c)^p (y - y_c)^q I(x, y), (12)$$

$$c_{00} = m_{00}, (13)$$

$$c_{10} = 0, (14)$$

$$c_{01} = 0, (15)$$

$$c_{11} = m_{11} - x_c m_{01} = m_{11} - y_c m_{10}, (16)$$

$$c_{20} = m_{20} - x_c m_{10}, (17)$$

$$c_{02} = m_{02} - y_c m_{01}, (18)$$

obecně lze předpis pro výpočet centrálního momentu určit:

$$c_{pq} = \sum_k^p \sum_l^q \binom{p}{k} \binom{q}{l} (-x_c)^{(p-k)} (-y_c)^{(q-l)} m_{kl}, (19)$$

## 4.2 Nástroje pro zpracování videa

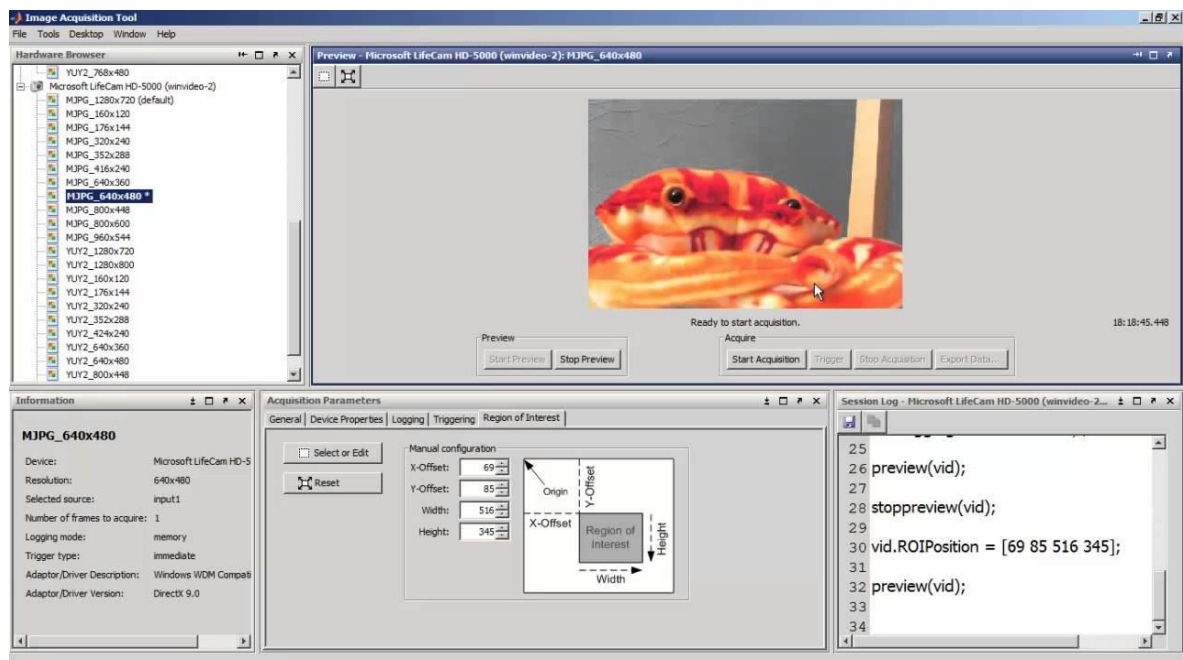
V této teoretické části bude uveden základní přehled dvou nástrojů, jimiž jsou Image Acquisition Toolbox (použitelný v MATLABU) a OpenCV (použitelné například pro platformu Python).

### 4.2.1 Image Acquisition Toolbox

Image Acquisition Toolbox- je speciálním rozšiřujícím softwarovým balíčkem pro prostředí Matlab, které umožňuje zachycení obrázku a videa přímo z kompatibilních videokamer a translaci těchto dat přímo ke zpracování v prostředí MATLAB.

Tento balíček rozšíření umožňuje automaticky zjišťovat a konfigurovat videozařízení, provádět analýzu a ukládání obrazu přímo z prostředí MATLAB a Simulink. Balíček podporuje většinu nejmodernějších zařízení: od webových kamer po vysoce přesné vývojové mikroskopy.

Kombinace Image Acquisition Toolbox a Image Processing Toolbox je dokonalým prostředím pro programování aplikací pro zpracování obrazu a videa [58]. Není však volně přístupný ani pro akademická pracoviště a jeho cena se v různých verzích pohybuje od cca 1500 Eur výše.

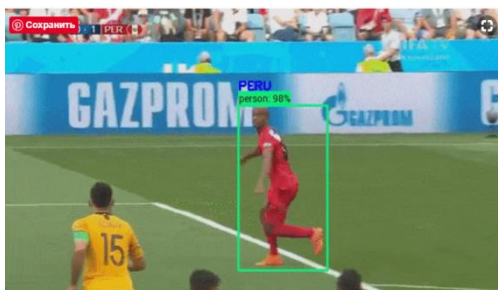


Obr. 9 . Print-screen pro seznámení s ovládacím panelem toolboxu Image Acquisition Toolbox [59]

### 4.2.2. OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision) je knihovna algoritmů počítačového vidění, zpracování numerických algoritmů s otevřeným programovacím kódem, který je realizován na platformě C/C++ a může fungovat i ve spojení s Pytonem nebo Matlabem. Různé verze jsou vydávány a upgradovány již od roku 1999. Jejich použití je bezplatné.

Samotný historický název „Computer vision“ neboli „Počítačové vidění“ je používán již desetiletí pro obory zobrazovací techniky a analytických metod, které se zaměřují na vývoj komplexních zařízení, která uživateli pomáhají kvantifikací důležitých informací ze snímků nebo videosekvencí (např. videa a nebo data z lékařských vyšetření, rehabilitačních cvičení nebo sportovních utkání). [51]



Obr. 10 Sledování polohy objektu pomocí OpenCV. [51]



## 5. Praktická část

Praktická část se bude věnovat návrhu a realizaci monitorovacího systému.

### 5.1. Návrh monitorovacího systému

Základ monitorovacího systému byl testován na umělém modelu potkana, kterým se dalo pohybovat. Další snímání a úpravy systému byly realizovány nad boxem s reálným zvířetem (3 kusy zvířat v různé hmotnosti a vitální kondici vyčleněny krátkodobě do karanténní laboratoře v různé dny). Snímání proběhlo v Centru experimentální medicíny SAV Bratislava a spolupracujícím chovném zařízení VUVeL Brno dle platné legislativy, byla použita zvířata *ratus norvegicus* z probíhajícího experimentu, snímání zvířete proběhlo v karanténní chovné laboratoři přímo v prostředí zvířetníku a bez jakýchkoli atypických stresujících podmínek (dbáno na stabilní světelné, hlukové a teplotní podmínky dlouhodobě používané pro chov tohoto typu zvířat a dbáno v průběhu testů i na přístup ke granulovanému krmivu a vodě), neinvazivní snímací procedura s občasným pohybem ošetřujícího laboranta nad boxem byla již dříve zahrnuta i v rámci konkrétního projektu pokusu Centra experimentální medicíny SAV.

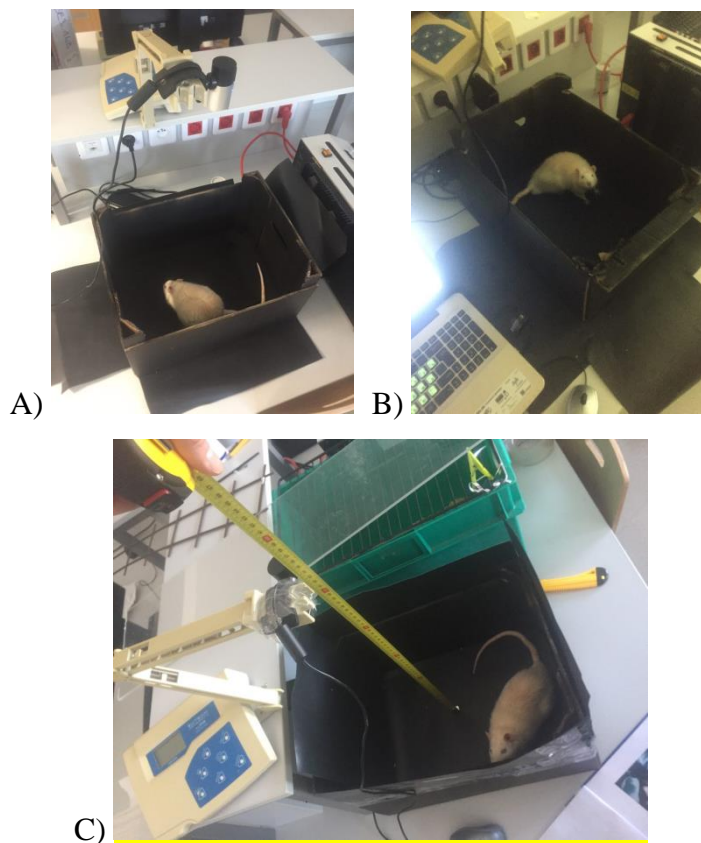
Návrh sledovacího systému probíhal v podmínkách snímání a zpracování v reálném čase, protože při prvních pokusech konfigurace sledovacího systému bylo zjištěno že zdravý potkan je velmi pohyblivé zvíře a obtížně by šlo použít například několik vteřin zpožděný video-záznam pro přesné určení polohy (který je samozřejmě technicky jednodušejší zpracovatelný a by byl opodstatněný možná pro monitoring želv či skotu ve výběhu). Zpracování obrazů v reálném čase samozřejmě zvyšuje nároky systému pro zpracování a díky nim bylo nutno použít jiné sady softwarů než byl původní odhad.

Později byl systém testován na potkanech odpočívajících po anestezii a chirurgickém zákroku, byl testován vliv této anestetické látky na motilitu a bylo srovnání s motilitou před anestézií. Obecně je známo, že látka (zde použit Xylapan) přestane na potkana působit přibližně za 2 hodiny [74], což je důležité pro přesné definování nalezení stavu a typu motilit (viz Kap 5.3.6).

Dále bylo při různých testech nutné zohlednit řadu optických nepředvídatelných problémů, například že s každým pohybem potkana se měnil i uhel natočení směru srsti což se projevovalo ve změnách jasové složky a tím i častou chybovostí ve výsledných detekcích.

V případě nemožnosti sledování živých zvířat Obr. 29(a-c) byly pro vývoj algoritmu využity nepohyblivé umělé animální modely (Obr.31), konkrétně byly využity pro odladění hlášení alarmových a jiných stavů objektu a další odladění softwarových funkcí (viz Kap 5.1.2).

### 5.1.2 Popis optických podmínek v chovném zařízení a použitých technických pomůcek pro realizaci snímků

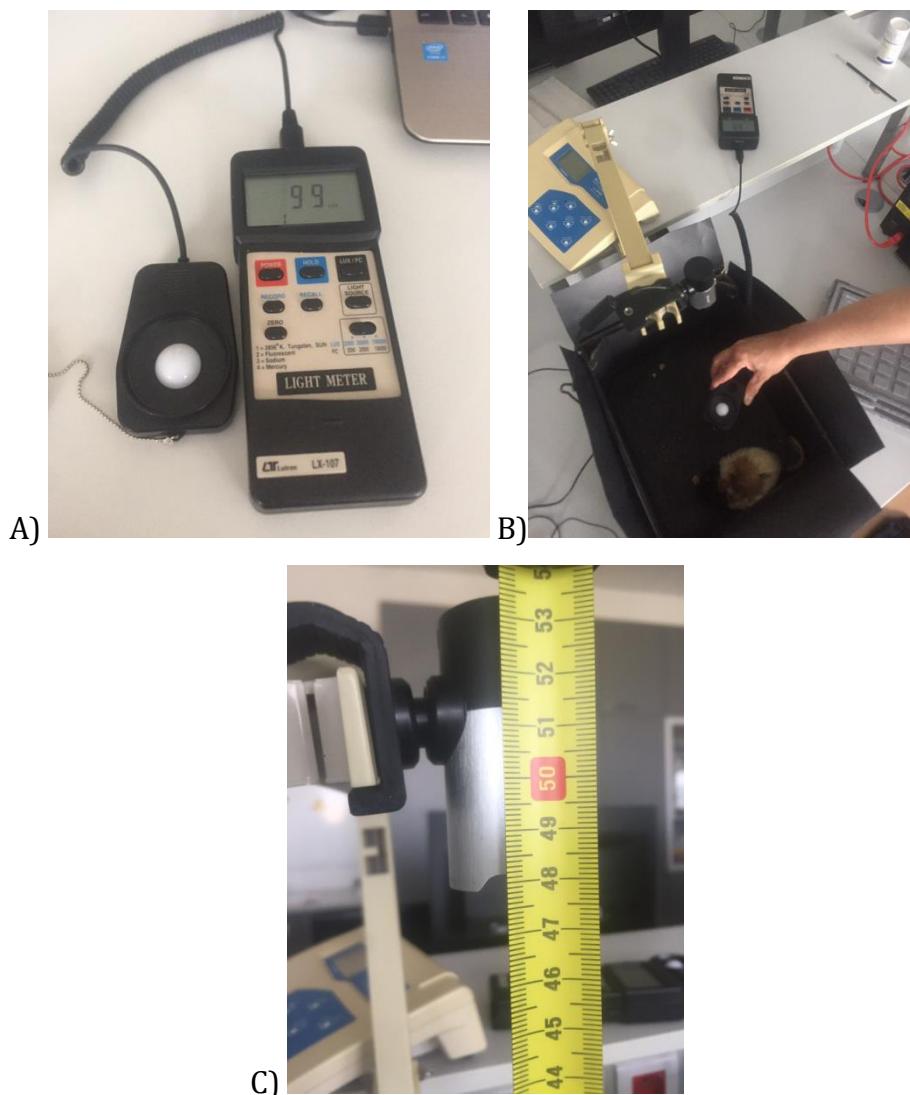


Obr 29(A-C) Náhled na finální verzi boxu (změněna původní barva pozadí pro dobrý kontrast) a ilustrace umístění kamery na polohovatelném rameni.

Bylo testováno 5 kamer, nakonec byla zvolena kamera Microsoft (viz obr. 25) (s USB kabelem) tato kamera má širokoúhlé zorné pole, které umožňuje zabrat širší spektrum, při rozlišení 1080p o frekvencích 30 snímků za sekundu, její umístění je optimální nad centrem obdélníkového boxu ve výšce 53cm. Důležitým testem bylo testování světelných podmínek, byly testovány tradiční světelné podmínky v chovném zařízení VUVeL Brno a SAV Bratislava, chovné laboratoře jsou zde vybaveny zářivkami a není zde vliv venkovního světla. Byla kvantifikována hodnota osvětlení pro box, který je umístěn na polici v centru místnosti a zjištěna hodnota světelných podmínek 400 Lux. Tato hodnota se ukázala jako dostatečná pro dobrý kontrast a vyhodnocení pohybu zvolenou kamerou. Nebylo tedy potřeba pro danou kameru konstruovat nadstandartní osvětlovací soustavu.

Sledování bylo provedeno s živým potkanem, jako prostor na detekci s dobrým kontrastem byl využit černý box, který je jednou z variant standardního chovného boxu.

(o rozměrech 30cm; 40cm; 27cm) za světelných podmínek 99 luxu (viz obr.30a) v laboratoři a 68lux na úrovni výšky hlavy potkana (viz obr.30b), kamera během experimentu byla umístěna ve výšce 53cm (viz obr.30c).



Obr.30. (a-c) LUX-metr a měření osvětlení na dně boxu 53 cm pod objektivem kamery

K experimentu byl použit:

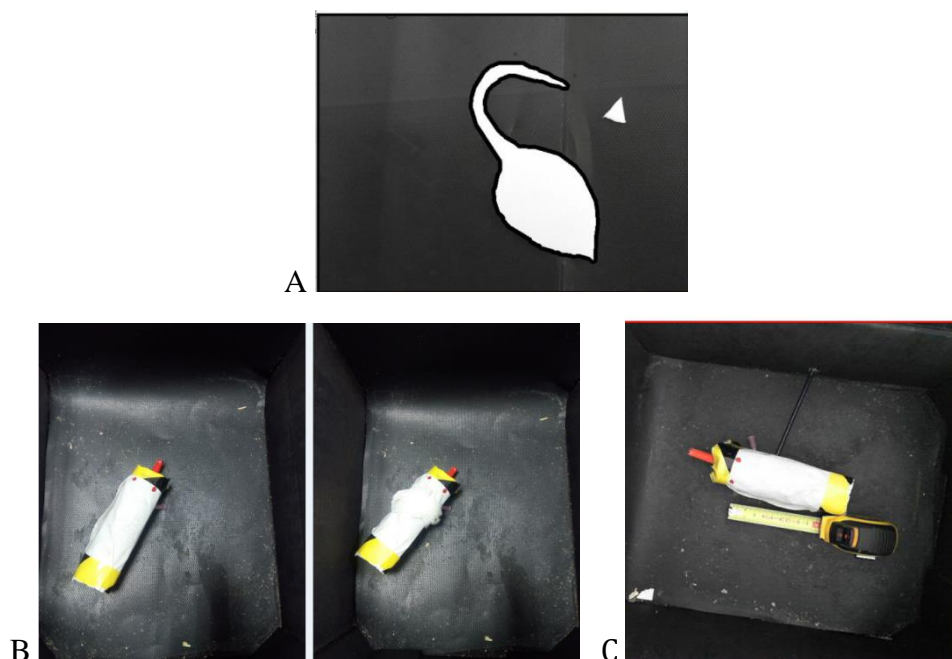
- notebook Asus X555L(Intel CORE i7 5500U ,8gb Ram )[65]
- 64bitový operační systém „Windows 10 home“,
- „Python“ verze 3.7.2,
- knihovna „Open CV“ verze 4.0.

### 5.1.3 Výroba zástupného objektu

Důvodem nutnosti vytvoření zástupného objektu-animálního modelu je:

- a) Testování kamery softwaru v době, kdy není možno kvůli animálním experimentům nebo vytížení veterinárních pracovníků použít reálné zvíře.
- b) Testování přesně definovaných stavů (zvoleného přesného pohybu, rychlosti a geometrie zvířete v boxu), které bychom těžko vnutili zvířeti.

Byly postupně vytvořeny dva zástupné objekty simulující tělo potkana. První zástupný objekt byl vytvořen vystřihnutím z desky polystyrenu – vznikl tak polystyrenový bílý elipsoid (délka 15 cm, šířka 6 cm; Viz obr. 31).

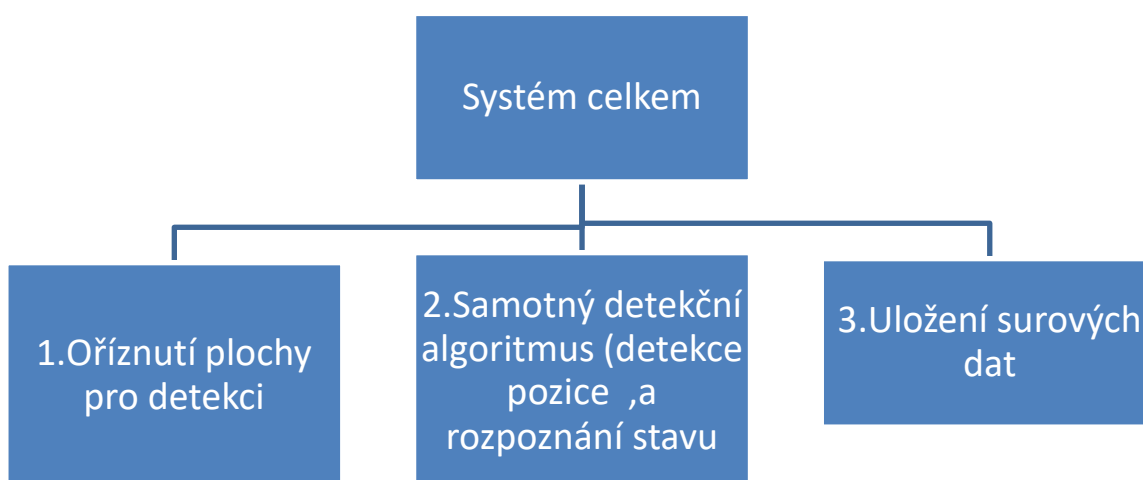


obr.31 (A) Staticky zástupný objekt (polystyrenový animální model); (B-C) 3D Zástupný objekt (animalni model) simulující barvou a tvarem reálné tělo potkana

Po řadě preciznějších testů s kamerou a softwarem, byl jako zástupný trojrozměrný objekt vytvořen polystyrenový válec obalený bílým papírem (viz Obr. 31 B). Rozměry jsou odvozeny od skutečného zvířete (délka 15cm, šířka 6 cm). Válcem bylo možné v boxu i pohybovat pomocí „nenápadné“ nektrastní černé tyčinky (Obr. 31 C.)

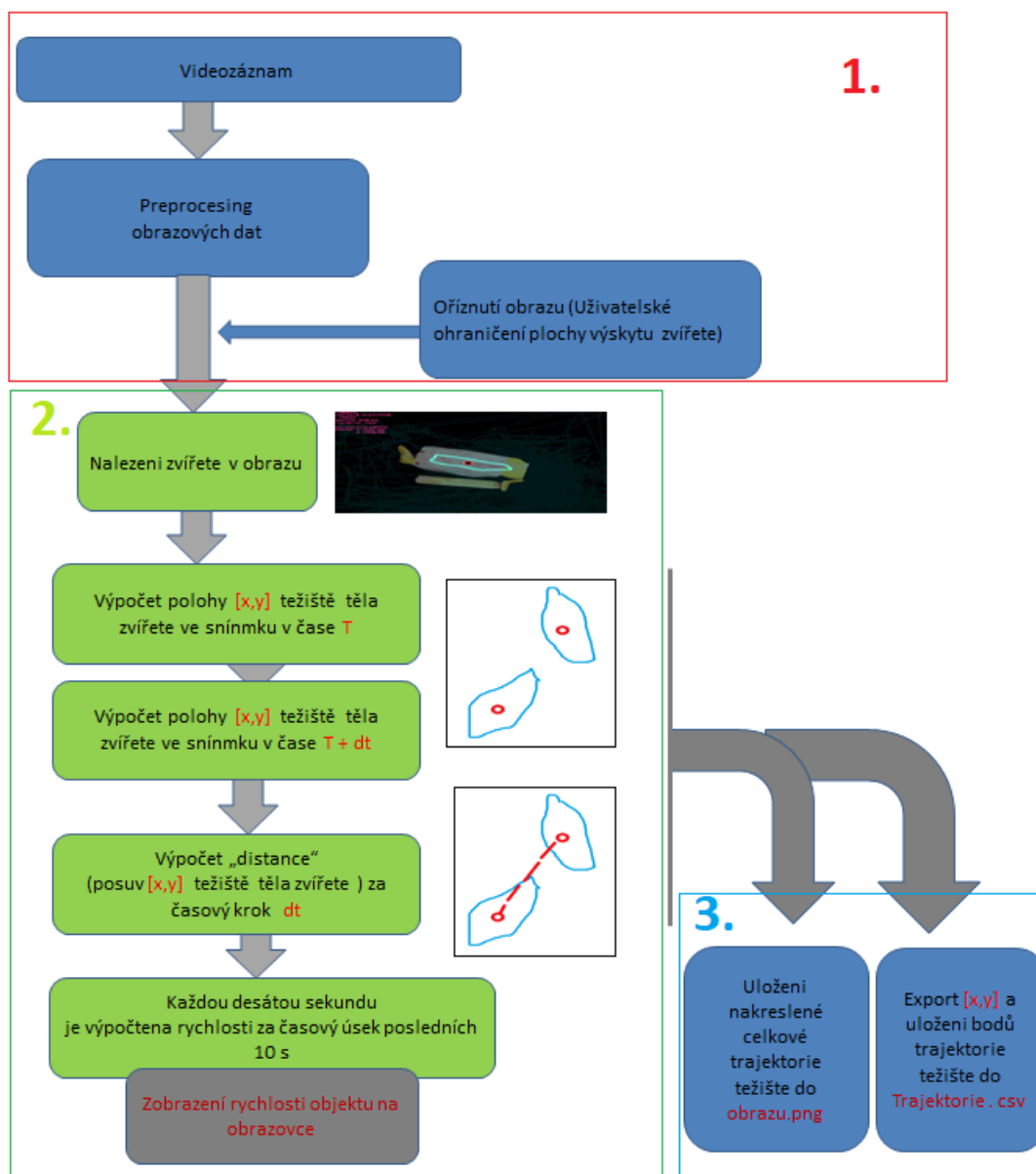
### 5.1.4 Blokové schéma pro tvorbu programu

Definované zadání z pohledu veterinárních lékařů bylo nutno jasně přeformulovat do názvosloví technického a softwarového. Cílový program, který byl postupně konstruován a evaluován měl být vytvořen podle obecného blokového schématu. Systém by se měl skládat ze tří hlavních částí: před zpracováním s cílem eliminace okolního šumu, samotný algoritmus nacílený na detekci zvířete a třetí blok, ve kterém užitečná data, která byla natáčena, se ukládala do složky (viz obr 32).



Obr.32 Blokové schéma na návrh algoritmu

V následujícím schématu (obr. 33) je popsán každý z těchto bloků podrobněji s označením více kroků, očíslování částí blokového schématu koresponduje s očíslováním částí zmíněného schématu (obr. 32).



Obr.33 Blokové schéma na návrh algoritmu

Předpokládám, že algoritmus by se měl skládat z větších bloků:

Prvním by mělo být předzpracování videosignálu pro bezpečné vymezení detekční plochy (zjednodušeně řečeno aby, aktivní analyzované pole lícovalo s planárním dnem boxu = eliminace okolních odrazových artefaktů na svislých stěnách a předmětech)

Druhým větším blokem bude sledovací algoritmus pohybu potkana a analytický blok posuzující stav potkana na základě rychlosti - pokusím se vytvořit na základě vypočítané průměrné rychlosti, kterou se pohybuje potkan za předešlých deset sekund ve třetí části zmíněného schématu (obr. 33).

Dalším blokem bude ukládání surových dat (body posuvu těžiště zvířete), realizovat se bude b ukládáním do složky „trajektorie“ pohybu sledovaného potkana, bude ukládáno jako obrázek do

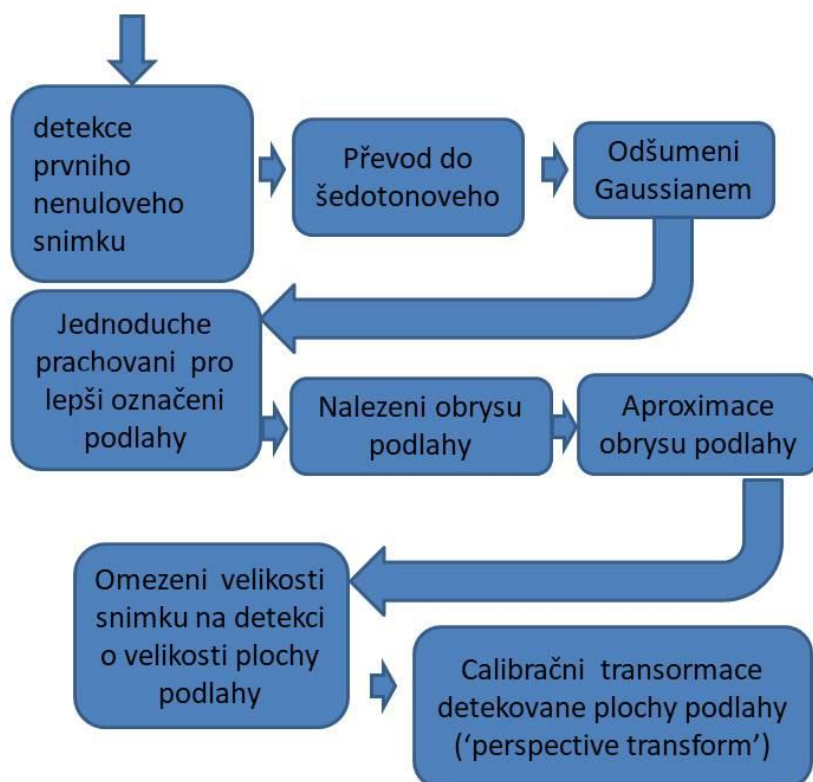
stejné složky by měl být přidán videosoubor s detekcí a sledování. Navíc by měl být uložen „csv“ soubor s polohou sledovaného potkana jako pozice souřadnic a čas pro každý snímek – umožňující následnou možnost zpracování dat v jiných softwarech.

## 5.2 Realizace softwarové části systémů na sledování potkana

Systém byl realizován na třech větších částech, které po zpuštění fungují spolehlivě v reálném čase.

### 5.2.1 Realizace části softwaru na předzpracování signálu

Potřebujeme co nejlepší signál bez šumu pro tento účel je potřeba mít omezenou plochu o definovaném rozměru 600\*660 pixelu (velikost plochy podlahy černé krabice o definovaných rozměrech).

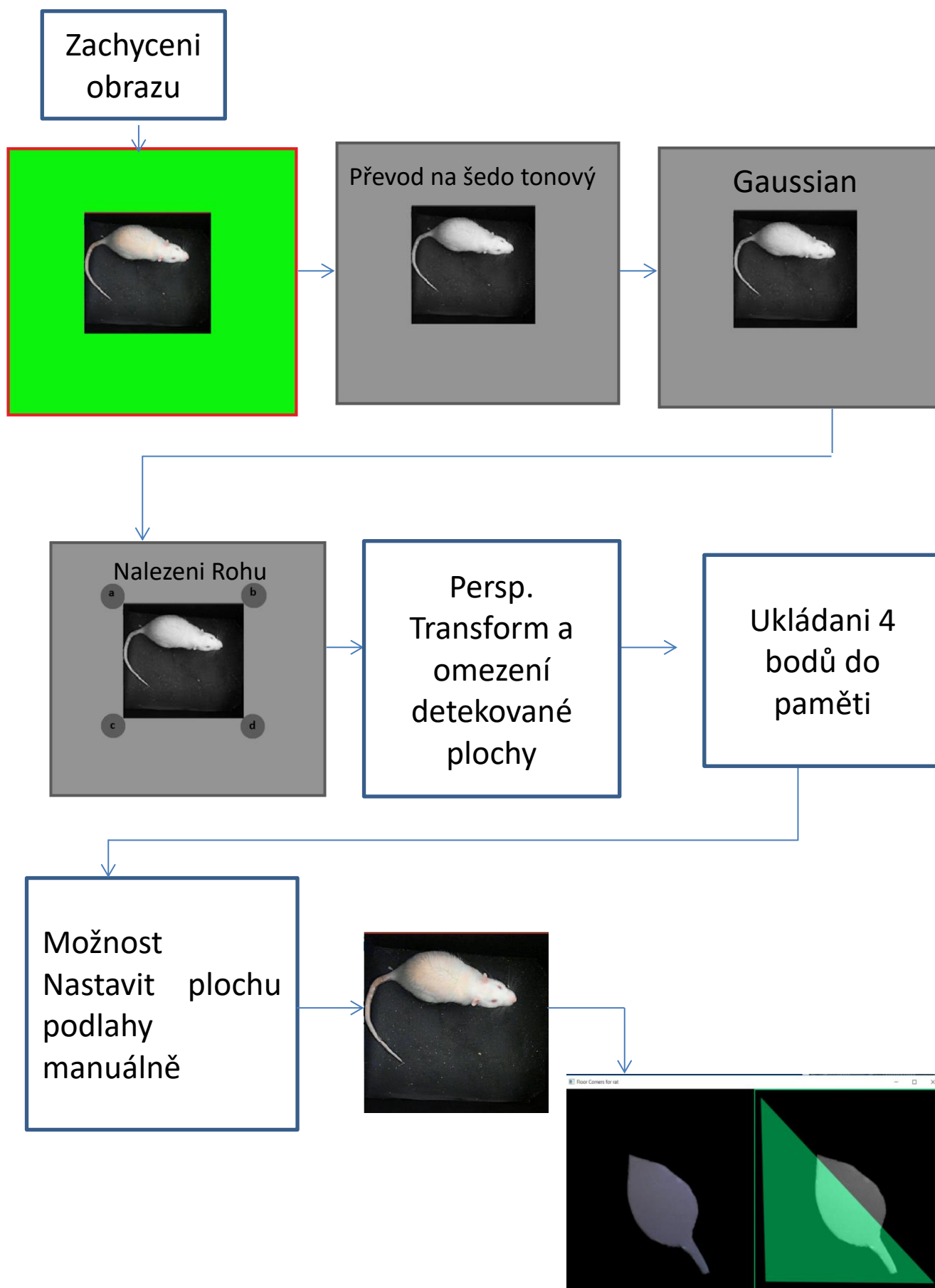


Obr.34 Blokové schéma na realizaci části předzpracování algoritmu

Realizace proběhla tak, že kamera zachytla snímek (viz. Obr.35) toho co „vidí“ ve svém zorném poli – je to RGB obraz, který je následně převeden na šedo tónový a odfiltrován Gaussovským filtrem [99], po filtru provedena banalizace obrazu (viz kapitola 4) a pomocí funkce na detekci obrysu, kterou používá OpenCV [73] – je detekován největší černý obrys a udělána jeho

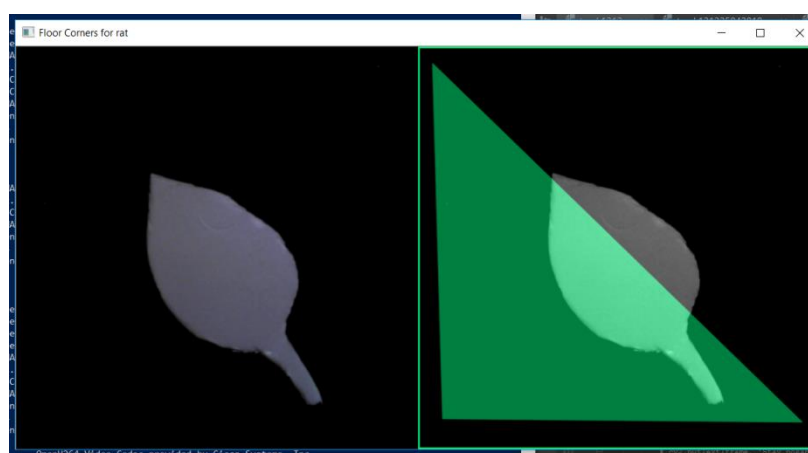
aproximace, abychom ho co nejvíc připodobnili černému čtverci, byl udělán jeho konvexní obal (viz kapitola 4) a následně tento obal analyzován, zda je tento čtverec konvexním tetragonem: pokud ANO – čtyři body v rozích budou ukládány do paměti pro následné omezení plochy na sledování a geometrickou transformaci (viz kapitola 4).





Obr.35 Přesnější blokové schéma na realizaci části předzpracování algoritmu

Vytvořený program prvním krokem odřezává jen plochu, na které bude monitorováno zvíře: v tom kroku program detekuje největší černou oblast a po aproximaci hran je udělán konvexní obal čtverců. Tímto způsobem je přidána hrana a pak následně analyzována softwarem – je-li tato hrana černým tetragonem, který zabírá plochu poloviny detekovaného obrazu (podlaha a stěny krabice dle uvážení uživatele) pro detekci. Do kódu byla přidána užitečná funkce, která vizualizuje na obrazovce označení plochy (uživatelsky řečeno kreslení tetragonu podlahy a ovládání myši) (viz Obr. 36).



Obr. 36. Oznaceni plochy podlahy pro detekci

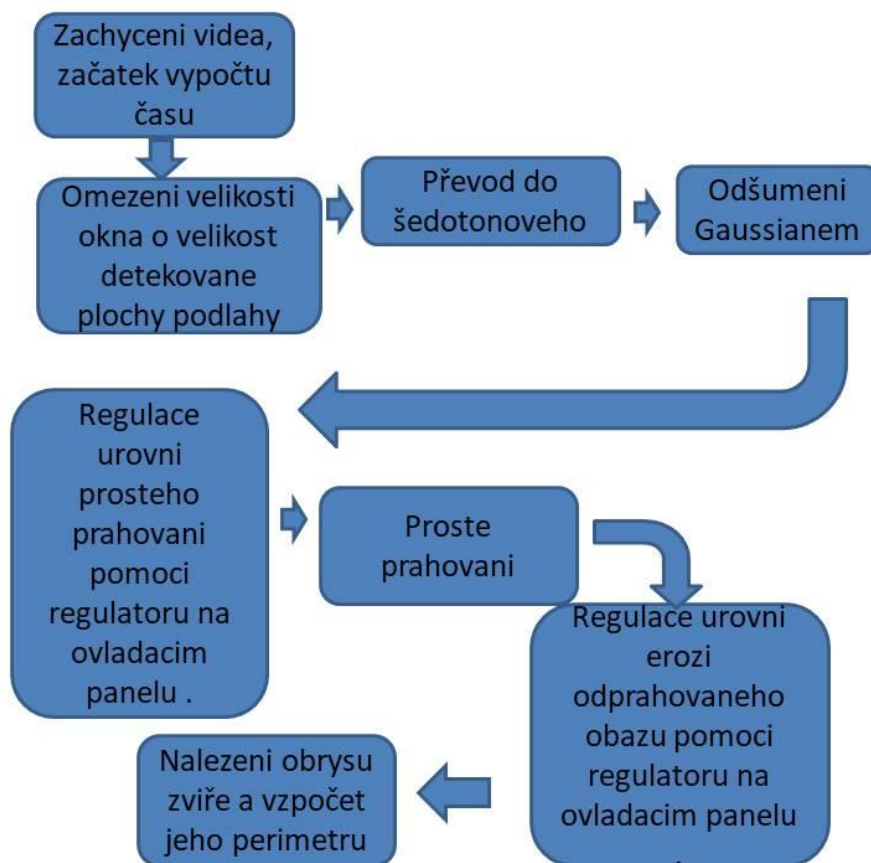
Dále je tato uživatelem definovaná plocha podlahy zobrazena v uživatelském grafickém okně naší utility, kde je přenášén aktuální obraz. Do stejného grafického okna bude programem dále zakreslována trajektorie zvířete a jiné kvantitativní statistické parametry (viz obr. 37).



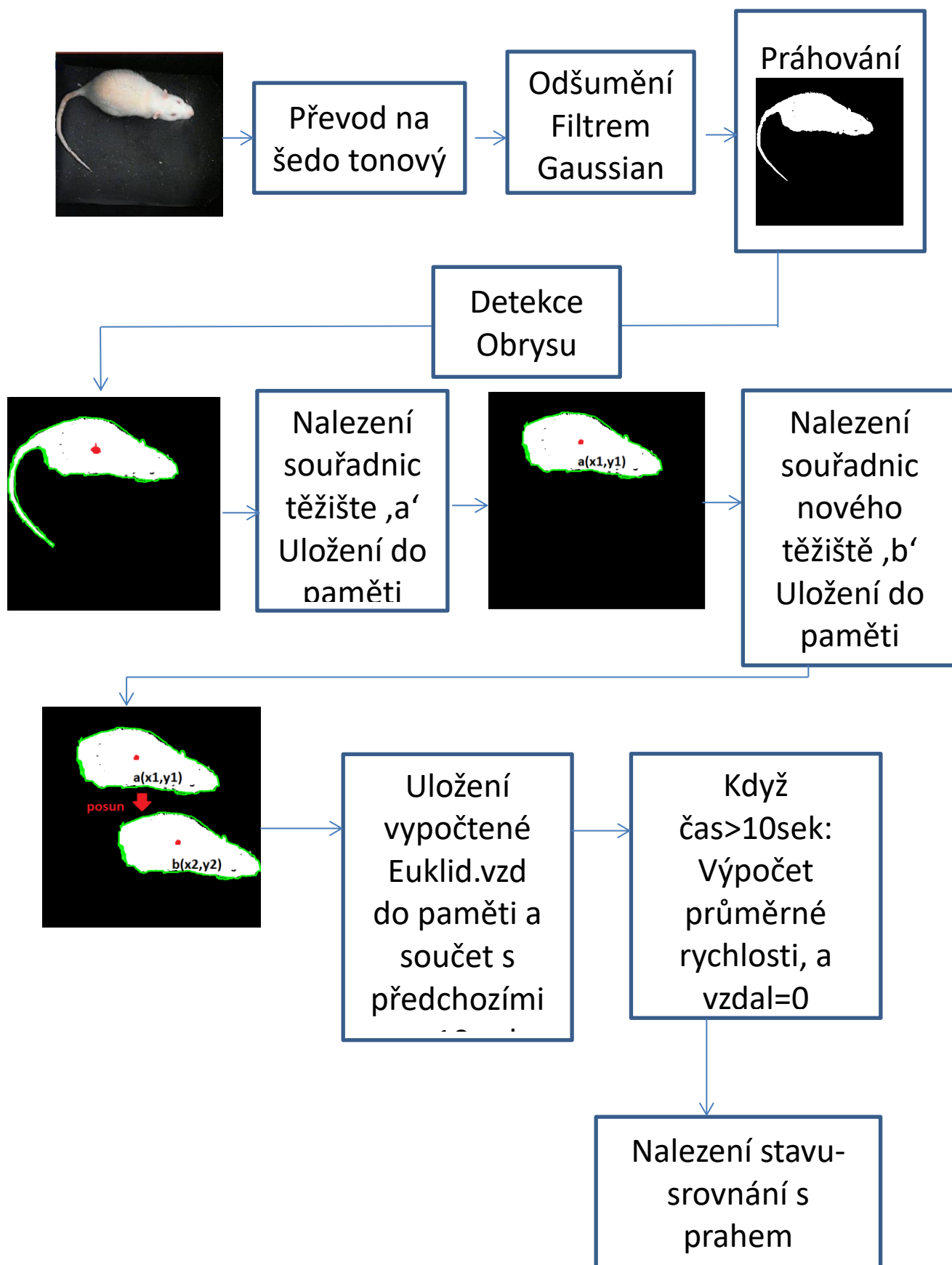
Obr. 37. Okno zpuštěného programu (obrys je zmenšen pro eliminace pohybu ocasu)

## 5.2.2 Realizace části software na detekci, sběr statistiky a nalezení stavu

Parametr, na jehož základě by bylo možné ustanovit stav potkana, je jeho průměrná rychlost za omezený úsek času.

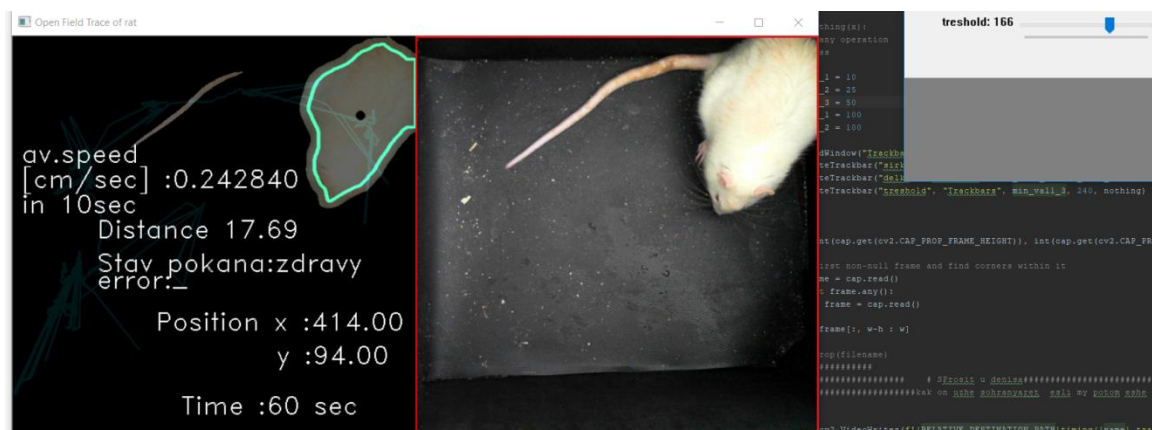


Obr.38 Blokové schéma na realizaci algoritmu sledování a nalezení stavu potkana

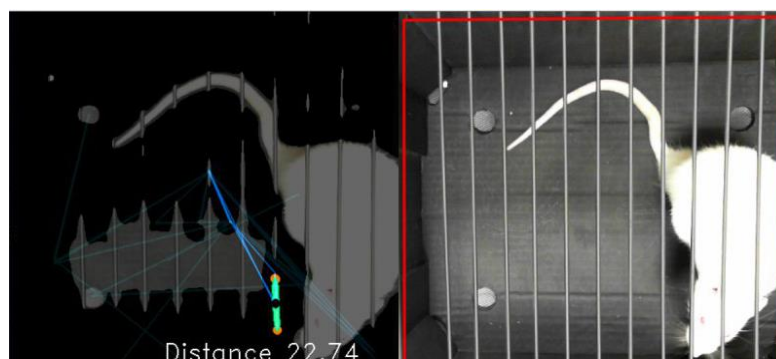


Obr.39 Podrobnější bloková schémata na realizaci algoritmu sledování a nalezení stavu potkana

Následujícím krokem byla udělána segmentace metodou prostého prahování [odkaz] bílé barvy a navíc byla přidána regulace prahu v reálném čase pomocí ovládacího panelu (viz obr.40 – posuvník vlevo), protože při pevném nastavení úrovně prahu systém dával špatné výsledky a detekoval odrazy místo detekce zvířete (viz Obr. 41). A navíc bude tato funkce pro uživatele užitečná do budoucna při změně světelných podmínek (např. experimenty za jiného než standardního osvětlení).



Obr.40. Grafické okno na obrazovce notebooku (zobrazuje jak zpracovaný obraz těla a reálný obraz těla z kamery) a posuvník pro nastavní regulace prahu uživatelem.

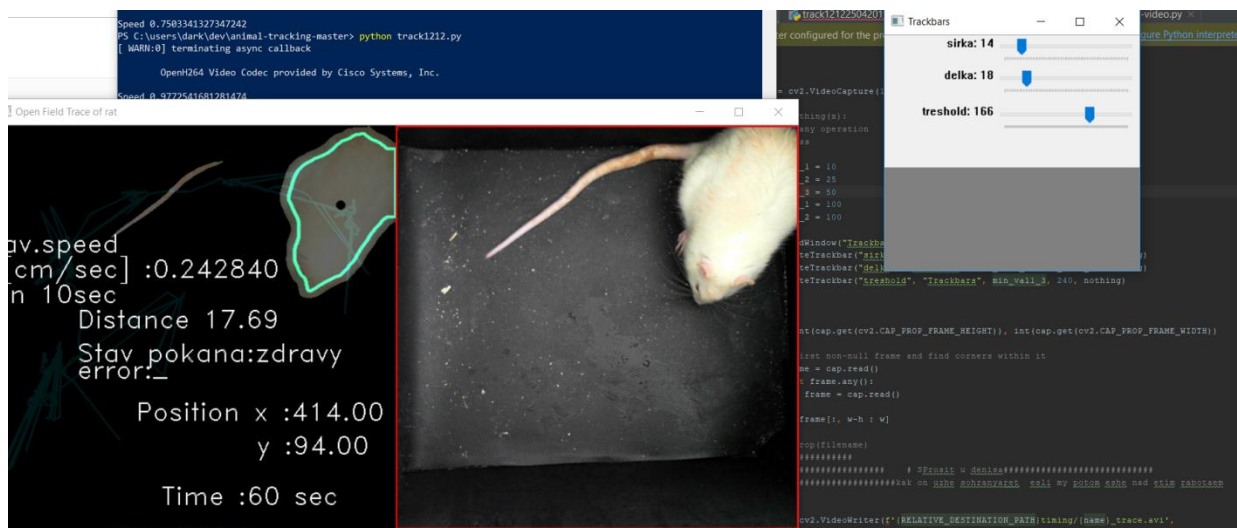


Obr.41 Chybná detekce obrysu.

Po prahování (viz Kap.4) bylo provedeno nalezení hran v obraze podle algoritmu topologického analýzou[73], které bylo následně uloženo podle hierarchie a dostali jsme element z největším argumentem hran (co s největší shodou vypočtené hrany těla „zelené křivky“ s reálným tělem viz Obr. 40).

Jako výsledná je vybrána softwarem kontura s největším obsahem. Následně byl spočítán perimetr (délka kontury), (slouží pro alarm - pokud potkan úplně zmizí ze zorného pole). Následně je realizována možnost zmenšit obrys detekovaného zvířete, aby pohyb ocasu nevadil pro výpočet těžiště obrysu a přepočet cesty a také z důvodu odlišnosti každého zvířete lékař musí nastavit parametry v reálném čase, abychom softwarem detekovali obrys bez ocasu, tato možnost je realizována pomocí morfologické operace. Eroze regulace tohoto parametru v reálném čase je realizována pomocí ovládacího panelu.

Nejprve snahou bylo vyhledat celý obrys potkana, ale následně byl kód po poradě s veterinárními uživateli modifikován tak, aby detekoval jen tělo potkana bez ocasu, a aby pohyb ocasu nezkresloval detekci pozice centra zvířete (ilustrace Obr. 42).

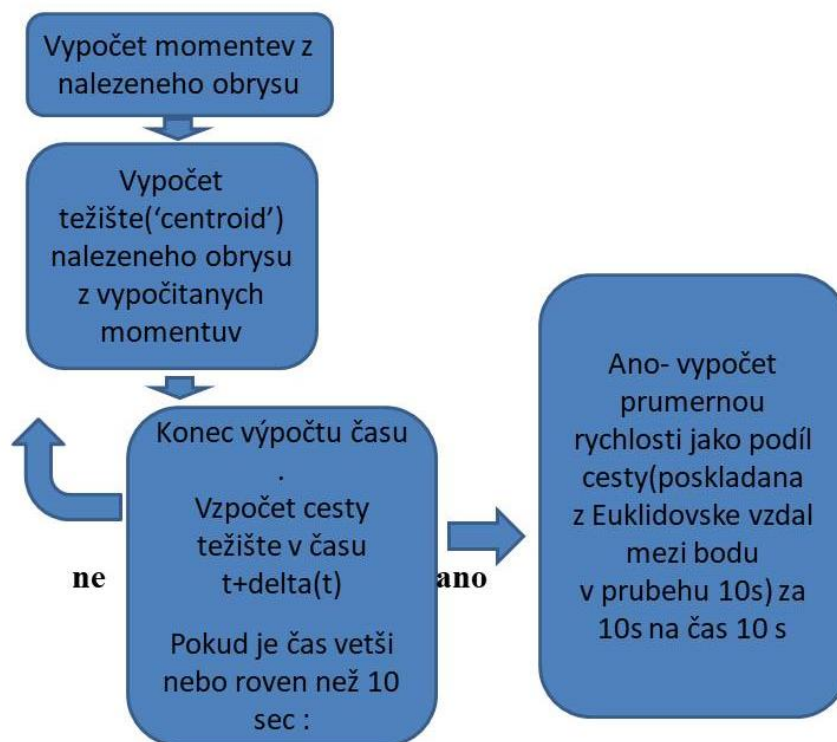


Obr.42 Okno zpuštěného systému s regulátory nastavenými na detekci tělesa potkana



Obr.43 Zástupný objekt

### 5.2.3 Výpočet polohy těžiště



Obr.46 Výpočet momentů z nalezeného obrysu

Nalezení centra (těžiště) objektu v obraze lze realizovat výpočetní metodou „momentů“ (viz kap.č.4.1.7) v knihovně Open CV. Níže budou rozebrány některé detaily výpočtu momentů obrazu. O momentech mluvíme tehdy, když určujeme specifický vážený průměr intenzity obrazových pixelů, pomocí něhož můžeme najít některé specifické vlastnosti obrazu, jako je poloměr, plocha, těžiště atd. Pro nalezení těžiště obrazu je obvykle převeden původní barevný obraz na binární formát a pak vypočtené jeho těžiště.

$$C_x = \frac{M_{10}}{M_{00}}, (20)$$

$$C_y = \frac{M_{01}}{M_{00}}, (21)$$

Provedeny následující kroky: -

1. obrázek převeden do šedo tónového
2. původní barevný obraz převeden na binární formát
3. Po výpočtu momentů podle formulí (20) a (22) střed objektu v obraze





Obr.46d. střed objektu v obraze

[57]

Pomocí kvantifikace momentů je vypočtena poloha pixelu těžiště detekovaného objektu v obraze (viz Obr.46d), v čase  $t$  ze začátku měření. Následně totéž spočítáme pozice těžiště v čase  $t + \Delta t$  (krok kamery = krok snímkování). Z těchto poloh pro tyto dva časy spočítáme dráhu, kterou to těžiště urazilo. Dráhu v dalším čase sumujeme. Získáme tak po každých 10 s hodnotu dráhy potkana za 10 sekund, v každé desáté sekundě hodnotu uložíme a proměnnou vyprázdníme. Tento princip se někdy nazývá jako výpočet Euklidovské vzdálenosti [72] :

- X-pozice těžiště v 1. snímku v sloupcích,
- Y- pozice těžiště v 1. snímku v řádcích,
- A-pozice těžiště ve 2. snímku v sloupcích,
- B - pozice těžiště ve 2. snímku v řádcích
- $\text{dist}((x, y), (a, b))$  – Euklidovská vzdálenost mezi 2 body

$$\text{dist}((x, y), (a, b)) = \sqrt{(x - a)^2 + (y - b)^2}, \quad (22)$$

Dráha, kterou urazí bod těžiště potřebujeme pro spočítání průměrné rychlosti za 10 sekund – podíl dráhy a času 10 s nám pak udává jednu z charakteristik motility a vitality zvířete, která zajímá veterinární lékaře a slouží pro porovnání zvířat nebo léčebných postupů mezi sebou.



## 5.2.4 Hlášení chyby

Navíc pro nalezení potkana v oblasti dna boxu je realizované hlášení chyby ve třech variantách (spočtených z délky kontury, která je vypočítána pro každý snímek, viz. Obrazy 55-57):

- 1) velikost perimetru  $< 120$  'error: zvíře není '
- 2)  $120 \leq \text{perimeter} \leq 300$  : 'error: zvíře stojí na zadních nohou '
- 3) V jiných případech : 'error: error není '

## 5.2.5 Ukládání dat

Po ukončení snímání, softwar automaticky vytvoří složku, do které přidá videa s trasováním detekovaného zvířete, obraz se snímkem celé trasy, kterou prošlo zvíře, a tabulka ve formátu „CSV“ (viz Obr. 60), ve které je označena pozice těžiště v osách X a Y a časový okamžik.

# 5.3 Kalibrace

## Externí kalibrace správnosti detekce těla zvířete

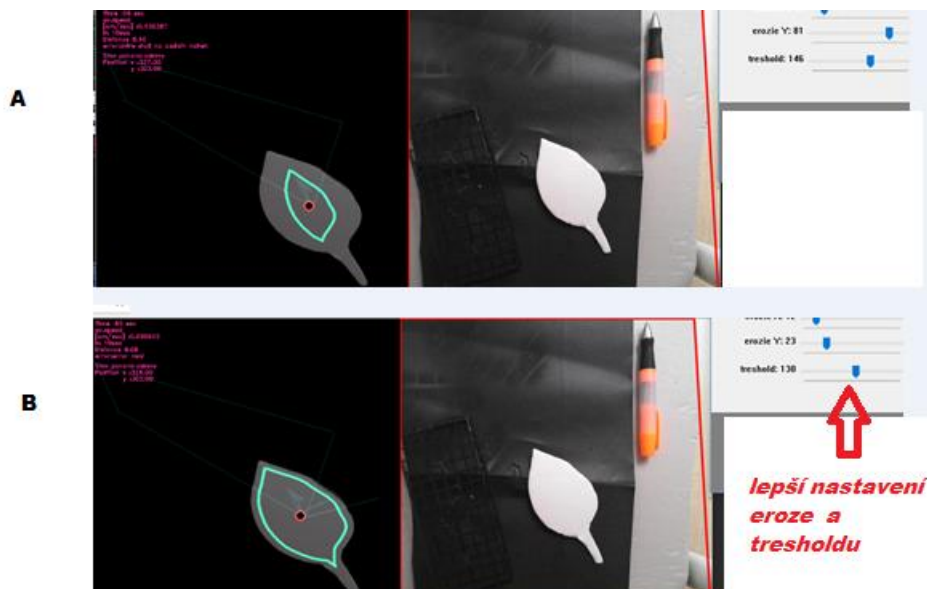
Funkce identifikace těla zvířete, konstrukce těžiště co nejpřesněji vystihující tvar těla zvířete při pohledu shora a výpočet těžiště zvířete byla detailně popsána v kapitole 4. Při konstrukci těžiště a určení polohy (x, y) těžiště, mohou teoreticky nastat následující nepřesnosti:

- a) Těžiště je programem zkonstruováno v místě, kde vůbec není zvíře
- b) Program nevygeneruje vůbec žádné těžiště
- c) Těžiště je programem zkonstruováno tak, že tvar je velmi odlišný od tvaru zvířete
- d) Těžiště je programem zkonstruováno tak, že tvar je velmi odlišný od tvaru zvířete a následně je ovlivněna i vypočtená poloha těžiště, která neodpovídá skutečné poloze těžiště zvířete

Proběhla více jak stovka testování detekce jak s umělým zástupným zvířetem, tak taky se zvířetem reálným a na základě nich bylo zjištěno, že situace (a) a (b) pro danou finální verzi softwaru a navrženém osvětlení nenastávají.

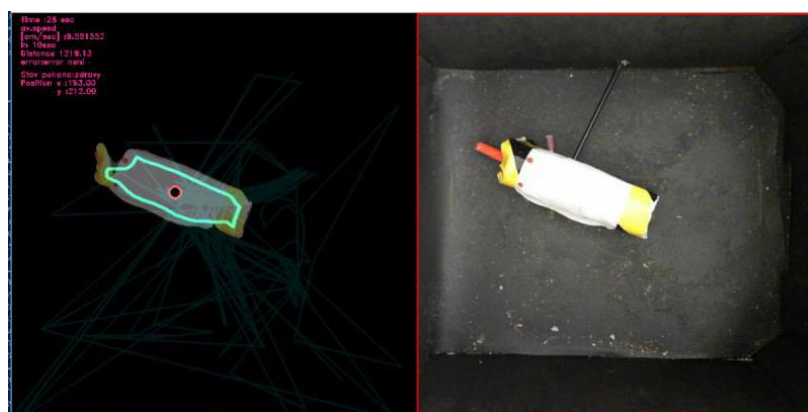
Další testování se soustředilo na vyhodnocení situace (c). Tato situace se vyskytla pouze při restartu programu (nevhodně nastavená iniciální eroze a threshold)(Obr. 46 – A), nebo v případě, kdy na reálném zvířeti byl povrch jeho srsti znečištěn či případně reálný potkan měl na těle

tmavé pigmentové skvrny. Tyto situace lze eliminovat nastavením posuvníku „threshold“ a „eroze“ před spuštěním měření (Obr. 46 – B), tak aby na obrazovce-modrá linie dobře vyplnila celou konturu. Zároveň bylo ale zjištěno, že pokud pigmentové skvrny jsou velké, není možno přesnou detekci této verze programu zajistit a do budoucna budou muset pro tyto situace být navrženy jiné modifikované techniky řešení.



Obr.46(a-b) korekce detekovaného obrysu pomocí ovladacího panelu

Situace (d) byla zkoumána velmi precizně statistickou metodou. Bylo spuštěno snímání, program 30 krát za sekundu generoval souřadnice jím vypočteného těžiště (obr.47) a ukládal do souboru “csv“ (surovadata.csv) (počátek soustavy souřadnic byl vhodně zvolen v levém horním rohu boxu). Zároveň byly ve formátu MP4 ukládána videa (30 snímků za sekundu) boxu s potkanem.



Obr.47. A- černý bod těžiště , B-snímek vyseknutý z videa mp4 pro stejný čas jako těžiště v levém snímku)

Po skončení snímání byly náhodným generátorem čísel vybrány hodnoty deseti časových okamžiků a byly porovnány souřadnici **X**, **Y** těžiště z: “csv“ souboru a odpovídající souřadnice

těžiště bílé plochy potkana ze snímku (těžiště bylo spočítáno pomocí softwaru:“Fiji“ automaticky detekován obrys a vypočteno těžiště). Odchytky byly velmi malé (viz. Ilustrační tabulky Tab. 1).

Výsledky testu pro situaci (d) tedy prokázaly, že těžiště potkana je detekováno programem velmi přesně s chybou menší jak 7 pixelů.

**Tab.1. Testování nalezení těžiště vytvořeným softwarem a nástrojem “Těžiště”(zorné pole 600\*600 pixelu)**

Název	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)	Poloha pixelu těžiště na obrazu (x, y)
Bod těžiště ze sledovacího systému (x, y)	421; 58	40; 155	4; 258	325; 171	320; 222	111; 25	50; 29	95; 41	156; 301	264; 147
Bod „FIJI“ (x, y)	424; 56	42; 158	4; 259	321; 167	314; 221	110; 27	45; 34	100; 40	154; 303	267; 147
Vypočtená Euklidovská vzdálenost mezi 2 body	3,6	3,6	1	5,65	6,08	2,23	2,23	2,96	2,82	3

Z těchto hodnot byla následně spočítaná úspěšnost nalezení těžiště objektu, která podle výpočtu z 10 náhodně vybraných snímků z jedné videosekvence nikdy nepřekročila hodnotu 6,08 pixelu mezi body.

### 5.3.1 Kalibrace správnosti nalezení stavu zvířete

V průběhu vytvoření softwaru práh průměrnou rychlosti, se kterou se porovnává průměrná rychlost vypočtena za předešlých deseti sekund byl stanoven bez výpočtu jenom pro testování. Tedy pro finální verzi tato veličina byla vypočtena podle následujících měření a postupů: Bylo provedeno 11 snímání zdravých potkanů, každé snímání trvalo po dobu jedné hodiny (abychom eliminovali mírně stresový pohyb potkanu během prvních 2-3minut) a videosekvence natáčení byla ukládána. Na těchto videosekvencích byla vypočtena průměrná rychlost potkana za každých 10 sekund, z které následně byl vypočten průměr pro každé sledované zvíře a vypočítá celkový průměr (viz tabulka 2) a stejné bylo proděláno pro omámené zvíře a z těchto dvou hodnot vyplynula střední hodnota, která byla vzata jako definiční hranice pro software (na základě ní bude software statisticky hodnotit motilitu potkana a hlásit jeho stav v průběhu sledování)

**Tabulka 2. Průměry rychlosti potkanův a konečný práh pro nalezení motility**

Průměrná rychlost zdravého z 10 sledování (pixel/sek).	Průměrná rychlost omámeného z 10 sledování (pixel/sek).	Střední veličina pro práh ve softwaru (pixel/sek).
0,0570390465	0,0190130155	0,038026031

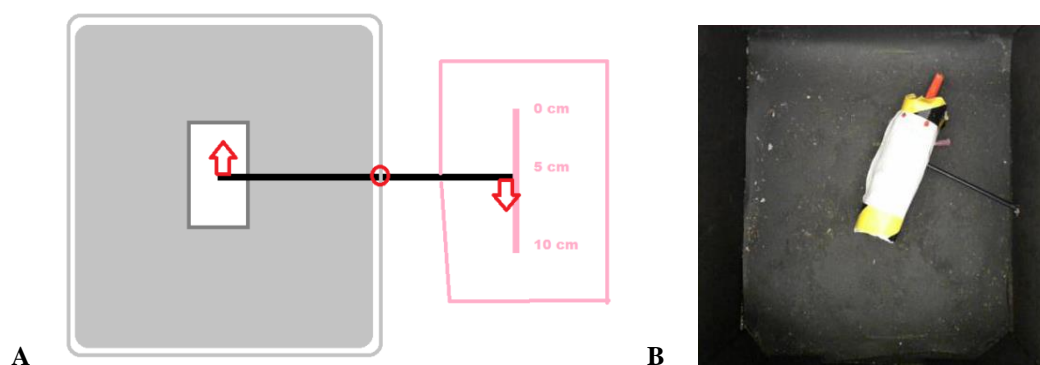
Nalezený práh (mezi hodnota) byl otestována na dalších snímáních zvířat (viz 5.3.3) z reálných podmínek sledování zvířete a hlášení jeho stavu v reálném čase – bylo provedeno 11 sledování.

### 5.3.2 Kalibrace měření vzdálenosti cesty potkana

Funkce měření rychlosti zvířete (konkrétně pro danou verzi programu se jedná o stanovení průměrné rychlosti za posledních 10 sekund) (viz kap. 5.2.2). Důležitým aspektem je verifikace přesnosti měření rychlosti. Chybu do měření rychlosti je možno vnést jak hardwarově tak softwarově; čili jak umístěním kamery tak nepřesnými parametry ve výpočtu.

Externí kalibrace byla realizována v těchto krocích:

- Do prázdného boxu je vložen zástupný objekt potkana (polystyrenový válec, Obr. 45)
- Skrz jednu stěnu boxu je propíchnuta černá tyčinka a tyčinka je spojena se zástupným objektem potkana a pomocí tyčinky (jako ramena rovnoramenné páky) je navozen pohyb potkana o definované rychlosti (Obr. 48). Délka pohybu objektu je  $S_{real} = 10\text{ cm}$ .
- Tyčinka je vyhotovena v černé barvě z důvodu velmi malého kontrastu vůči černému pozadí, proto, aby kamera o software detekovaly jako pohyblivý objekt pouze zástupný objekt potkana a nikoli s ním spojené pomocné objekty
- Kamerou je snímán pohyb zástupného objektu a vypočtena vzdálenost pohybu.
- Provedeme 10 měření a srovnáme statistické hodnoty  $S_{vypočet}$  a  $S_{real}$
- Porovnání vypočítanou a reálnou distancí byla provedena použitím zástupného objektu pohybujícího v rozmezí 10 centimetru (měřítka viz Obr. 49), bylo provedeno 10 snímání za světelných podmínek 50 luxů.



Obr. 48. (A) Schéma pomůcek pro nastavení vzdálenosti zástupného objektu potkana. (B) Reálné foto zástupného objektu s černou tyčinkou při startu a konci pohybu během 10 sekund.

Výsledkem z 10 testů (viz tabulka 3) bylo zjištění, že reálná hodnota vzdálenosti se liší a je potřeba provést korekci vypočtenou vzdálenosti a byl stanoven korekční koeficient  $-22.59$  který dosazen do rovnice vypočtu nahlášené vzdálenosti (viz rovnice(22)) následně taky byl otestován z 10ti měření(viz tabulka 4) – odlišnost výsledku pravděpodobně byla způsobena neúplně pevnou fixací kamery, v důsledku čeho mohl vzniknout její minimální pohyb při natáčení.



Obr.49 Porovnani vzdalenosti

**Tabulka 3. Srovnání reálné hodnoty vzdálenosti a vypočítaného ze sledování bodu těžiště.**

Číslo měření	Reálna [cm]	Vypočtena [cm]
1.	10	0.4480
2.	10	0.4275
3.	10	0.4361
4.	10	0.4464
5.	10	0.4554
6.	10	0.4591
7.	10	0.4321
8.	10	0.4513
9.	10	0.4399
10.	10	0.4301
Průměr	10	0,4425

**Tabulka 4. Srovnání po úpravě reálné hodnoty vzdálenosti a vypočítaného ze sledování bodu těžiště.**

Číslo měření	Reálna [cm]	Vypočtena [cm]
1.	10	10
2.	10	9,98
3.	10	10
4.	10	10
5.	10	9,99
6.	10	10
7.	10	9,97
8.	10	9,98
9.	10	9,96
10.	10	10
Průměr	10	10

### 5.3.3 Testování správnosti detekci bílého potkana

Nalezený práh taky byl otestován z reálných podmínek sledováním zvíře a hlášení jeho stavu v reálném čase – bylo provedeno 11 sledování

Bylo provedeno 22 sledování=11 pro zdravé potkany a 11 pro omámené potkany, každé na dobu jedné hodiny (abychom eliminovali stresový pohyb potkana během prvních 2-3 minut.

Byl stanoven stav potkana (viz tab.5)

**Tabulka 5 Testování nalezení stavu potkana**

Pořadí sledování	Výskyt správné detekci stavu v čase (od začátku sledování) Pro zdravé zvíře za každých 10 sekund během snímání stav potkana: „zdravý“: <b>Ano/Ne (důvod)</b>	Výskyt správné detekce (minuty; sekundy) stavu v čase (od začátku sledování) Pro omámené zvíře: <b>(minuty: sekundy)</b>
Sledování 1	Ano	45:09
Sledování 2	Ano	41:56
Sledování 3	Ano	43:26
Sledování 4	Ne (potkan usnul)	56:16
Sledování 5	Ano	43:26
Sledování 6	Ano	46:27
Sledování 7	Ano	49:34
Sledování 8	Ne (potkan usnul)	42:29
Sledování 9	Ano	45:18
Sledování 10	Ano	48:36
Sledování 11	Ano	47:58

Falešné nalezení stavu bylo jen v těch případech, kdy potkan usnul.

Takže úspěšnost detekce zdravého zvíře z těch jedenácti sledování je: **81,8181%**

Úspěšnost detekce omámeného zvíře z těch jedenácti sledování je: **100%**

Celková úspěšnost systému z těchto 22 sledování je: **86,33636%**



### 5.3.4 Testování správnosti detekce potkanů s barevným pigmentem

Navíc bylo provedeno snímání nemocného potkana (zvíře s jizvou na dorsální straně těla) a potkana s barevnou srstí.

Pokud detekci provádíme na neúplně-bílém potkanu systém funguje, tak že detekuje hrany jen bílé části potkana (viz obr.50).

Systém zadetekoval jen 38 % (porovnáno pomocí nástrojů „Fiji“ víc Obr. 51) z celkového obrysu reálného těla potkana vypočítáno jako podmnožina ohraničených pixelu vůči všem pixelům těla potkana.

A takže pro správné nalezení stavu je potřeba úprava metody na nalezení obrysu zvířete, jinak že v této situaci bod těžiště při malém pohybu potkana začíná systém jeho hýbne detekovat v jiných oblastech z důvodu oddělení a překrytí bílých částí potkana.

Pro vylepšení analýzy barevného potkana je jako řešení možno realizovat rozšíření algoritmu na detekci obrysů pomocí učící se neuronové sítě[78].



Obr.50. 'Printscreen' během prací systému zpuštěný pro potkana z barevným pigmentem(vlevo-detekované obrysy a těžiště; vpravo-zorné pole kamery)



Obr.51.Porovnani obrysu provedené v softwaru “Fiji”

## 6. Výsledky

Systém detekce těla zvířete a kvantifikace trajektorie zvířete v čase spolehlivě funguje v reálném čase u bílého zvířeti. Systém nezpůsobuje dodatečný stres monitorovanému zvířeti. Pro zvíře se silně pigmentovanou srstí systém zatím nefunguje spolehlivě.

Sledovací systém byl umístěn k boxu ve zvířetníku, bylo provedeno celkem 11 sledování zdravých potkanů, každé po dobu jedné hodiny byla ukládána vypočtena průměrná rychlost za každých 10 sekund, ze které následně byl vypočten průměr pro každé sledované zvíře a vypočítán celkový průměr (viz tabulka 6). Stejně sledování a výpočet rychlostí bylo aplikováno na anestetikované zvíře. Z těchto dvou hodnot pro zdravé a anestetikované zvíře byla určena střední hodnota – tu dále bereme jako mezní hranice pro software (pro budoucnost statistická hodnocení motilitu potkana a hlášení „zdravý“ nebo „postižený“ v průběhu sledování).

**Tabulka 6. Statické výsledky měření motilit potkanův.**

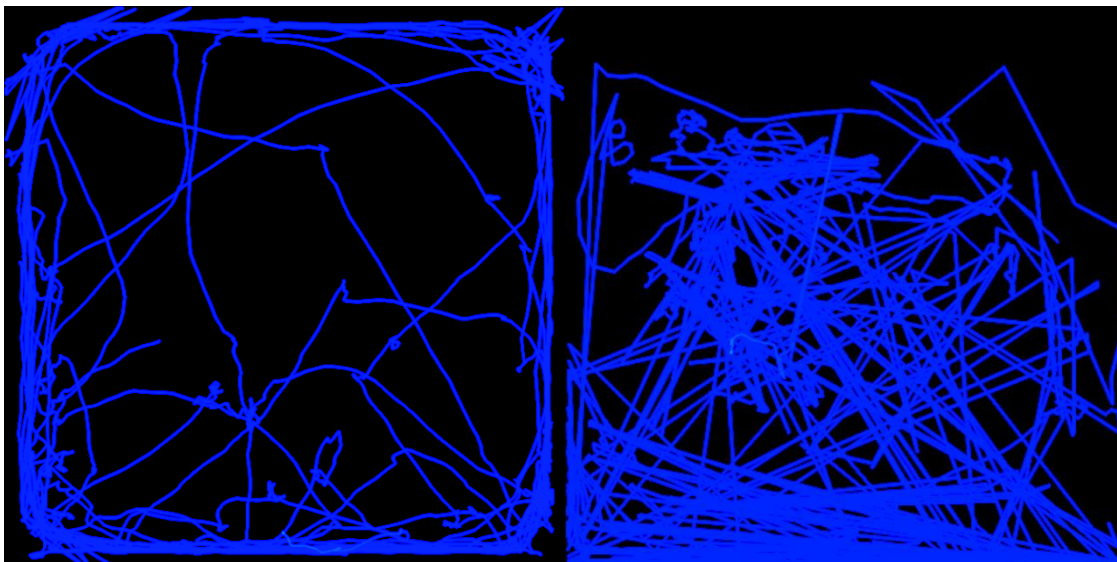
Průměrná rychlost zdravého z 10 sledování (pixel/sek).	Průměrná rychlost omámeného z 10 sledování (pixel/sek).	Střední veličina pro práh ve softwaru (pixel/sek).
0,0570390465	0,0190130155	0,038026031

### 6.2 Zobrazování celkové trajektorie a srovnání trajektorie pro zdravého nebo ovlivněného potkana.

Vždy po ukončení snímání systém uloží celkovou trajektorii za celkový čas (od začátku sledování až po konec sledování) ve dvou formátech :

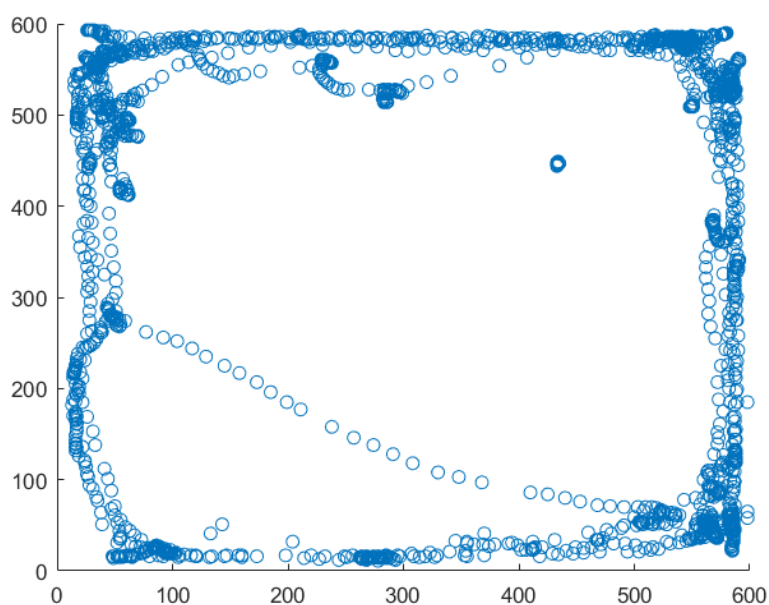
- Obraz, na kterém je modrou značkou vykreslena trajektorie sledovaného zvířeti
- „.CSV“ soubor v kterém uložena ve dvou sloupcích pozice těžiště v souřadnicích X a Y pro každý snímek videozáznamu. Výhodný by měl být pro snadný export dat pro jakýkoliv nástroj pro statistické vyhodnocení motility zvířete.

Zorné pole kamery bylo nastaveno o velikosti 600\*600 pixelu. Celková trajektorie byla vygenerována po skenování potkana zdravého a postiženého (zapůjčen jedinec s jizvou v rámci veterinárního pokusu). Jak ukazuje Obr. 52, byl srovnán pohyb pro případ zdravý vs. postižený (obr 52a-b), jde vidět, že zdravý potkan se pohybuje v celém prostoru (velikosti: šířka-30cm; délka-40cm; výška-27cm). Postižený potkan naopak snažit se schovat se v rozích a u stěn boxu.



Obr. 52. Trajektorie pohybu ( a - postižený, b - zdravý)

Jako příklad možnosti exportu dat pro statistické vyhodnocení byl proveden export dat do nástrojů Matlab a pomocí jednoduchého kódu byla nakreslena trajektorie pohybu ze souboru CSV(viz obraz **Obr.52c**).



Obr.52c Zaznamenání pohybu bodu těžiště vypočteného pro každý snímek (grafický výstup z doplňkové vizualizační utility v Matlabu)

## 7. Diskuze a závěr

Hlavními cíli diplomové práce byla rešerše metod bezkontaktní detekce polohy laboratorních zvířat a navrhnutí komplexního hardwarového a softwarového řešení pro sestavení vhodného monitorovacího systému pro bezkontaktní detekci pohybu potkana (tak aby nezpůsobil při dlouhodobém použití stres zvířeti). Monitorovací systém by měl fungovat v reálném čase (tj. výstup souřadnic x-y polohy zvířete by měl být k dispozici v reálném čase pro další použití, např. pro veterinární aplikace jako ozařovací robotická ruka). Doplnkovým cílem práce bylo také software monitorovacího systému doplnit o dlouhodobý záznam dat a základní statistické vyhodnocování motility zvířete (například pro možnosti objektivního rozlišení zvířete zdravého a postiženého či mapování zvířete po anestezii)

Před realizací kamerového systému byly prostudovány odborné články k danému tématu a jako optimální pro monitorování polohy a dlouhodobé motility zvířat byla po řadě předběžných testů na živých zvířatech i statických či pohyblivých fantomech vybrána barevná kamera Microsoft HD Lifecam (snímající na vlnových délkách viditelného spektra). Tato kamera se osvědčila více než kamera infračervená, zejména je výhodou to, že bude použitelná v budoucnu i pro boxy s plexisklovým krytem, které se standardně využívají na spolupracujícím veterinárním pracovišti.

Kamera byla po testech osazena na speciální polohovatelné plastové rameno nad chovným boxem, technika a umístění kamery byla primárně volena tak, aby nezpůsobovala dodatečný stres monitorovanému zvířeti. Kamera svou velikostí nijak nebrání osvětlení boxu a potkan má po celý den standartní světelný režim. Během prvních testů systému a tvorby softwaru byl jako zástupný předmět vyroben a používán 3-rozměrný model potkana (vytvořena z trubice obalené bílým papírem s možností simulace pohybu pomocí spojení s rovnoramennou pákou). Následně monitorovací systém byl testován a vylepšován za reálných podmínek na živém potkanovi v klasickém prostředí chovné laboratoře. Vytvořený systém je schopen fungovat v reálném čase, v uživatelském dialogovém okně umožňuje měnit některé parametry (parametry eroze a kontrastu) a tak zlepšovat přesnost detekce.

Sestavené softwarové řešení zvládá detekovat a předávat informaci o poloze těžiště zvířete v reálném čase (například důležitá pro veterinární lékaře a experimentátory pro budoucí ozařování zvířete v boxu, která by se realizovala jemným posuvem a směřováním robotické ruky) a zvládá vypočítávat a hlásit průměrnou rychlost za každých 10 sekund pohybu zvířete

(hlášení důležitá například pro objektivní hodnocení rekonvalescence nebo nástupu anestezie).

Finální software po optimalizaci umí:

- Načíst obrazová data z kamery v reálném čase
- V reálném čase vyhodnotí polohu potkana a jeho rychlost za posledních 10 s respektive rychlostní charakteristiku (zdravý / postižený / anestetikovaný)
- Trajektorii potkana jednak zobrazuje na obrazovce notebooku grafickou linkou (umožňuje veterinární obsluze dobře kontrolovat jak potkan přistupoval k misce atp.) jednak ukládá do „csv“ souboru, kde může být následně trajektorie využita pro sofistikovaná statistická hodnocení a srovnání více zvířat s určitou diagnózou
- může odesílat aktuální souřadnice x-y polohy zvířete přes USB (budoucí využití pro zacílení ozařovacího děla v reálném čase na nemocného potkana například)

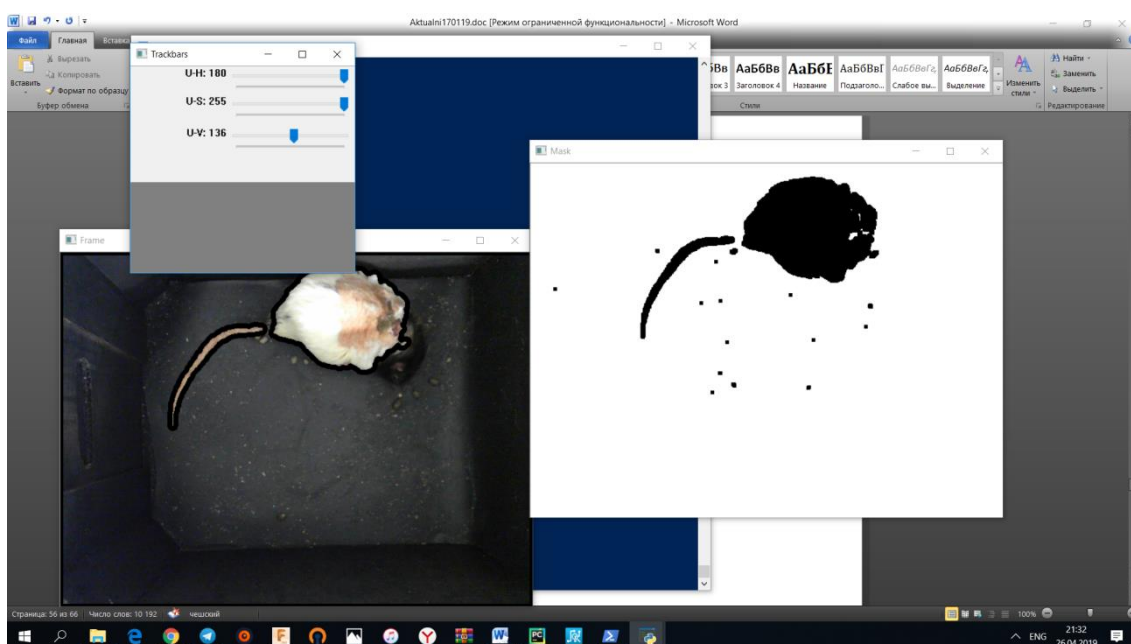
Výhodou systému je možnost rozšíření utility přidáním různých typů čidel a detektorů (třeba detektor světelných podmínek a nebo teploměru – pro monitorování a zpracování dat pro přesnější pochopení stavu potkanu ) a navíc budoucí možnost aplikování učení pomocí neuronové sítě na získaných datech (nasnímané videa a obrazy s trasami pohybu potkana ).

Dalším úkolem během řešení práce bylo realizovat dlouhodobý záznam pohybu několika potkanů a stanovení typických motilit pro potkana po dodání anestetika a pro neanestetikovaného zdravého potkana. Byl nalezen kvantitativní rozdíl v rychlosti a na základě těchto typických rychlostí byl do softwaru implementováno automatické rozlišování a signalizace, že zvíře vykazuje motilitu jako zdravé nebo jako zvíře po anestezii nebo jako zvíře s indukovaným postižením.

V kapitole 5.3.3 „Testování správnosti detekce bílého potkana“ bylo otestováno na bílém potkanu, že odchylka detekované polohy(x,y) těžiště a reálné polohy těžiště byla vždy menší než 0,03 cm.

V kapitole 5.3.4. „Testování správnosti detekce potkanů s barevným pigmentem“ bylo však zjištěno že pokud potkan je není celý bílý pak nastane problém z vygenerováním správné obrysové linky a chyba se přinese a do výpočtu polohy těžiště. V těchto případech neideálně bílého potkana je úspěšnost nalezení obrysu jen ~35 % ( z celkového obrysu reálného těla potkana vypočítáno jako podmnožina ohraničených pixelů vůči všem pixelům těla potkana). V tom případě lze problém do budoucna vyřešit rozšířením detekčního mechanismu

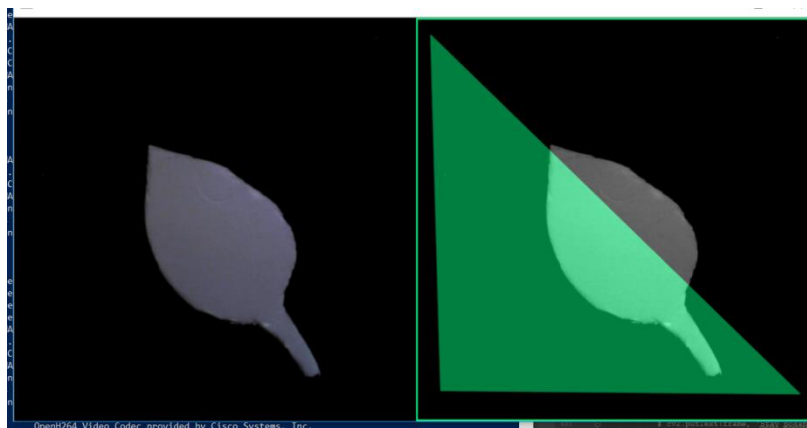
(například na detekci založené na učenlivé neuronové síti nebo pomoci uživatelsky na míru upraveného prahování podle barvy daného kmene potkana)(viz Obr.53).



Obr.53. Jiný způsob detekce obrysu prahováním podle barvy

## 8. Demonstrace systému z pohledu uživatele

Když uživatel připojí do počítače kameru a nastartuje systém tak že přihlásí do–tak nejdřív program naskočí do svého prvního stavu objeví se startovní okno v kterém systém nabídne: už oříznutou(předzpracovanou) plochu černé podlahy a možnost omezení plochy podlahy ručně označením čtyř bodu ze kterých ve průběhu klikání pomocí myši počítače v rozích krabice objeví se zelený čtverec(viz Obr.54)



Obr.54. Startovní dialogové okno pro označení plochy manuálně

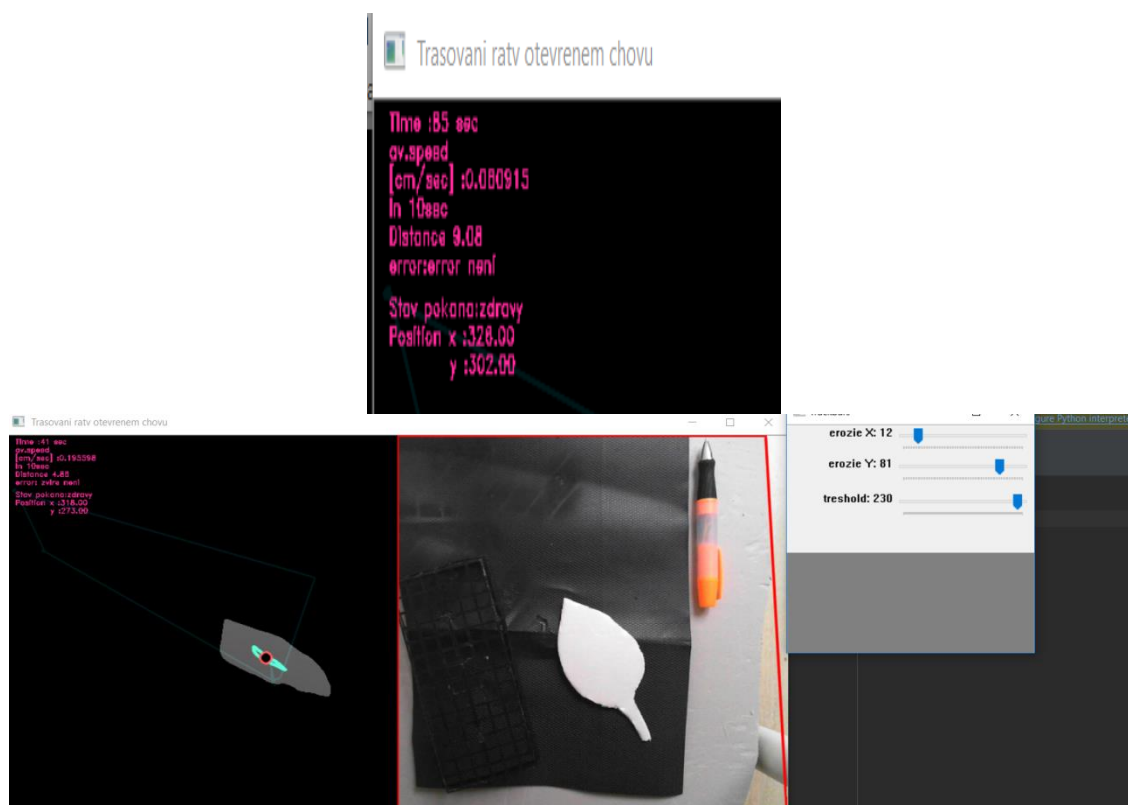
Následujícím krokem vznikne okno samotního zobrazení systému zobrazení detekovaného zvířeti

- Startovní dialogové okno(Obr.55) – nastavení úrovně prahování a eroze obrysu (morph operace)

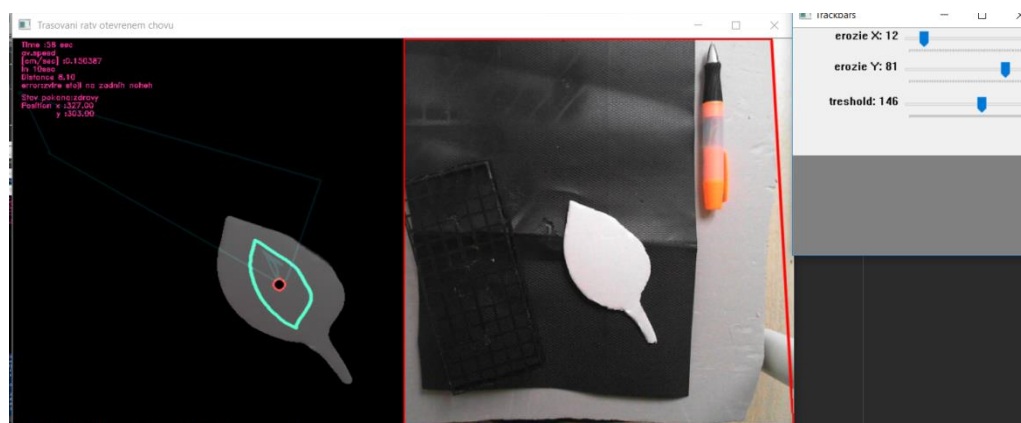
na obrazech 56-58 vpravo jsou regulátory:

- jádro eroze ve směrech x a y
- regulace úrovně prahování:“Threshold“

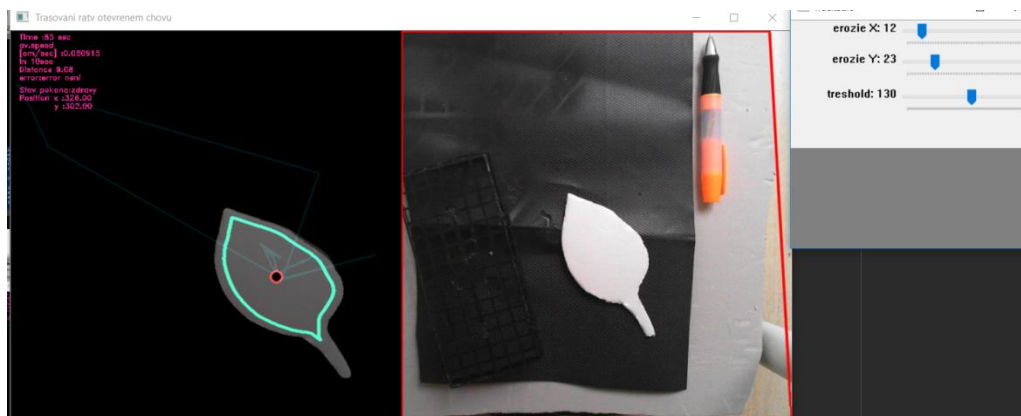




Obr.55 regulace urovne prahu a velikosti detekovaneho obrysu v prubehu fungovani systemu v realnem čase



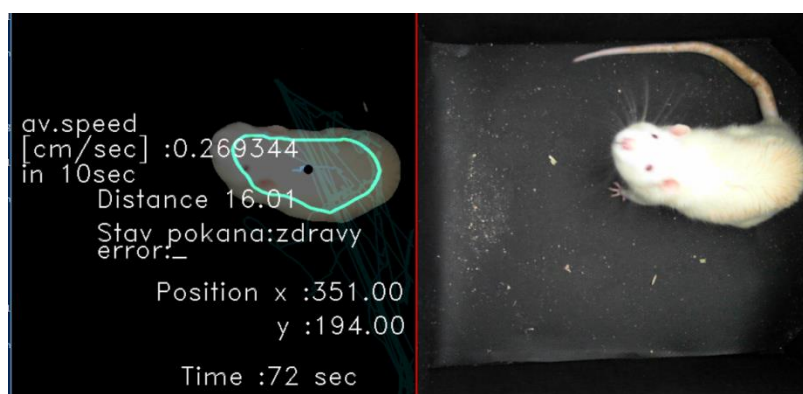
Obr.56 regulace velikosti detekovaneho obrysu v prubehu fungovani systemu v realnem čase



Obr.57 regulace velikosti detekovaného obrysu (detekce obrzysu zmenšeno o velikost tela bez ocasu) v průběhu fungování systému v reálném čase

Následujícím krokem na zobrazovací okno přidána informace (viz Obr.58) o:

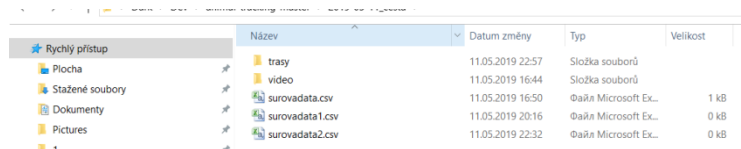
- Celkové cestě (řádek: „Distance“)
- Pozice bodu těžiště v osách X a Y (řádek: „Position X “ „Position Y“)
- Průměrná rychlost za 10 sekund (řádek: „av.speed in 10 sec “)
- Stav potkana : (řádek: „Stav potkana : Zdravý/ Postižený“)
- Hlášení chyby : (řádek : „error : \_ / error : Potkan není“ / error: zvíře stojí na zadních nohách)
- Celkový čas v sekundách : (řádek : „Time“)



Obr.58 Přehled systému fungujícího v reálném čase se sledováním živého potkana (detekce obrzysu zmenšeno o velikost tela bez ocasu)

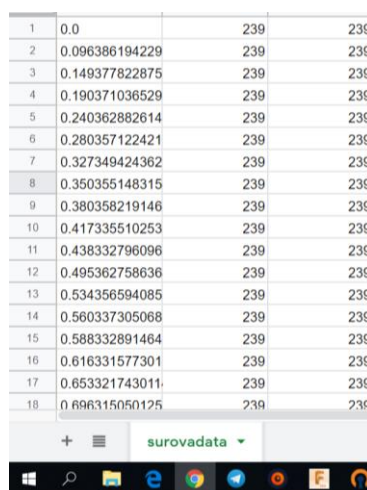
Po ukončení programu (tlačítkem „Esc“) ve stejné složce ve které nainstalován program vznikne nova složka (viz Obr.59) z názvem ve formátu “rok-měsíc-den\_cesta“ ve které bude: „csv“ soubor „surovadata“ (viz Obr.60) a dvě složky ;

- „Trasy“ s uloženým obrázkem trasy sledování zvířeti
- „Video“ tam uloženy videa ze začátku detekci až po ukončení



Název	Datum změny	Typ	Velikost
trasy	11.05.2019 22:57	Složka souborů	
video	11.05.2019 16:44	Složka souborů	
surovadata.csv	11.05.2019 16:50	Microsoft Excel...	1 kB
surovadata1.csv	11.05.2019 20:16	Microsoft Excel...	0 kB
surovadata2.csv	11.05.2019 22:32	Microsoft Excel...	0 kB

Obr. 59. Složka



1	0.0	239	239
2	0.096386194229	239	239
3	0.149377822875	239	239
4	0.190371036529	239	239
5	0.240362882614	239	239
6	0.280357122421	239	239
7	0.327349424362	239	239
8	0.350355148315	239	239
9	0.380358219146	239	239
10	0.417335510253	239	239
11	0.438332796096	239	239
12	0.495362758636	239	239
13	0.534356594085	239	239
14	0.560337305068	239	239
15	0.588332891464	239	239
16	0.616331577301	239	239
17	0.653321743011	239	239
18	0.696315050125	239	239

Obr. 60. Surová data

# Citovaná literatura

- [1] DOLAN, Kevin. Laboratory animal law: legal control of the use of animals in research. John Wiley & Sons, 2008..
- [2] FAJNEROVÁ, Iveta, et al. A virtual reality task based on animal research–spatial learning and memory in patients after the first episode of schizophrenia. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 2014, 8: 157..
- [3] KRINKE, George J. The laboratory rat. Elsevier, 2000.
- [4] LELOVAS, Pavlos P., et al. The laboratory rat as an animal model for osteoporosis research. *Comparative medicine*, 2008, 58.5: 424-430.
- [5] SAMUEL J., et al. Does age matter? The impact of rodent age on study outcomes. *Laboratory animals*, 2017, 51.2: 160-169.
- [6] Datasheet na sensor HCSR04 : Mouser [online datasheet], 25.11.2018 , [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <[https: 6.](https://www.mouser.com/datasheet/2/319/1/HCSR04-2322221.pdf)>
- [7] Newelectronics [online článek],2010-05-12 [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <<http://www.newelectronics.co.uk/electronics-technology/an-introduction-to-ultrasonic-sensors-for-vehicle-parking/24966/>>
- [8] Geysco [online článek],2014-07-10 [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <[https: http://www.geysco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C06820001.pdf](http://www.geysco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C06820001.pdf)>
- [9] KYME, André, et al. Markerless motion tracking of awake animals in positron emission tomography. *IEEE transactions on medical imaging*, 2014, 33.11: 2180-2190.
- [10] KALAFATIC, Zoran. Model-based tracking of laboratory animals. In: *EUROCON 2003. Computer as a Tool. The IEEE Region 8. IEEE*, 2003. p. 175-178.
- [11] ZHU, Qiming, et al. Automatic animal detection from kinect sensed images for livestock monitoring and assessment. In: *Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing (CIT/IUCC/DASC/PICOM)*, 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015. p. 1154-1157.
- [12] GODDARD, J. S., et al. Real-time awake animal motion tracking system for SPECT imaging. In: *Nuclear Science Symposium Conference Record*, 2008. NSS'08. IEEE. IEEE, 2008. p. 4707-4710.
- [13] NIE, Yuman, et al. Behavior recognition in laboratory mice using HFR video analysis. In: *Robotics and Automation (ICRA)*, 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011. p. 1595-1600.

- [14] MAGHSOUDI, O. Haji, et al. A novel automatic method to track the body and paws of running mice in high speed video. In: Signal Processing in Medicine and Biology Symposium (SPMB), 2015 IEEE. IEEE, 2015. p. 1-2.
- [15] GODDARD, J. S., et al. Improvements in intrinsic feature pose measurement for awake animal imaging. In: Nuclear Science Symposium Conference Record (NSS/MIC), 2010 IEEE. IEEE, 2010. p. 2814-2818.
- [16] MIRANDA, Alan, et al. Fast and accurate rat head motion tracking with point sources for awake brain PET. IEEE transactions on medical imaging, 2017, 36.7: 1573-1582.
- [17] XU, Qi, et al. A video tracking system for limb motion measurement in small animals. In: Optoelectronics and Image Processing (ICOIP), 2010 International Conference on. IEEE, 2010. p. 181-184.
- [18] GUNAY, A.; GEDIKLI, E.; EKINCI, M. Barnes Maze Based on Computer Vision and Learning. In: 2006 IEEE 14th Signal Processing and Communications Applications.
- [19] ISHII, Hiroyuki, et al. Development of autonomous experimental setup for behavior analysis of rats. In: Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007. IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2007. p. 4152-4157.
- [20] KIM, Cheol-Hu, et al. Directing the turning behavior of carp using virtual stimulation. OCEAN SYSTEMS ENGINEERING-AN INTERNATIONAL JOURNAL, 2017, 7.1: 39-51.
- [21] BILODEAU, Guillaume-Alexandre, et al. Where is the rat? Tracking in low contrast thermographic images. In: Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2011 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2011. p. 55-60.
- [22] KAWABATA, Kuniaki, et al. Active interaction utilizing micro mobile robot and on-line data gathering for experiments in cricket pheromone behavior. Robotics and autonomous systems, 2013, 61.12: 1529-1538.
- [23] JEYA, Logan; ZELEK, John. KinectScenes: Robust Real-Time RGB-D Fusion for Animal Behavioural Monitoring. In: Computer and Robot Vision (CRV), 2016 13th Conference on. IEEE, 2016. p. 383-390.
- [24] BURGHARDT, Tilo; CALIC, Janko. Real-time face detection and tracking of animals. In: Neural Network Applications in Electrical Engineering, 2006. NEUREL 2006. 8th Seminar on. IEEE, 2006. p. 27-32.
- [25] JOBBÁGY, Á., et al. Biomedical applications of a precision motion analysis system. In: Proc. of the 7th Int. IMEKO TC-13 Conf. Model Based Biomeasurements. 1995. p. 401-403.

- [26] THIELE, Johannes, et al. Smart sensors for small rodent observation. In: Sensors, 2008 IEEE. IEEE, 2008. p. 709-711.
- [27] HORNER, Angela M.; RUSS, David W.; BIKNEVICIUS, Audrone R. Effects of early-stage aging on locomotor dynamics and hindlimb muscle force production in the rat. *Journal of Experimental Biology*, 2011, 214.21: 3588-3595.
- [28] BROWN, Georjean DS, et al. Machine vision for rat detection using thermal and visual information. In: Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), 2017 IEEE 9th International Conference on. IEEE, 2017. p. 1-6.
- [29] FARAH, Rana; LANGLOIS, JM Pierre; BILODEAU, Guillaume-Alexandre. Catching a rat by its edglets. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, 22.2: 668-678.
- [30] ATLI, A. Volkan, et al. Tracking the Rotation of Lab Animals via Computer Vision. In: Signal Processing and Communications Applications, 2007. SIU 2007. IEEE 15th. IEEE, 2007. p. 1-4.
- [31] HU, Bin, et al. Research on animal feed and animal waste detection based on computer vision. In: Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014. p. 206-208.
- [32] KAIYAN, Lin, et al. A real-time computer vision monitoring way for animal diversity. In: World Automation Congress (WAC), 2012. IEEE, 2012. p. 1-5.
- [33] KALAFATIC, Zoran. Model-based tracking of laboratory animals. In: EUROCON 2003. Computer as a Tool. The IEEE Region 8. IEEE, 2003. p. 175-178.
- [34] COHEN, Charles J.; HAANPAA, Doug; ZOTT, James P. Machine vision algorithms for robust animal species identification. In: Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR), 2015 IEEE. IEEE, 2015. p. 1-7.
- [35] RISSE, Benjamin, et al. Visual Tracking of Small Animals in Cluttered Natural Environments Using a Freely Moving Camera. In: ICCV Workshops. 2017. p. 2840-2849.
- [36] DUQUE, Duarte. Tracking of small animals in laboratory An application of CUDA technology for the optimization of computer vision algorithms. In: 2018 IEEE 6th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). IEEE, 2018. p. 1-6.
- [37] NAIR, M. Revathy; DEEPA, D.; ANEESH, R. P. Real time human tracking system for defense application. In: Next Generation Intelligent Systems (ICNGIS), International Conference on. IEEE, 2016. p. 1-6.
- [38] ZELEK, John S.; BULLOCK, Dave. Real-time automated concurrent visual tracking of many animals and subsequent behavioural compilation. In: Computer Vision,

2001. ICCV 2001. Proceedings. Eighth IEEE International Conference on. IEEE, 2001. p. 751-751.
- [39] OSMAN, Sara Mohammed; ABU-BAKAR, Syed AR. Classification of moving objects using active vision. In: Computers, Communications, & Signal Processing with Special Track on Biomedical Engineering, 2005. CCSP 2005. 1st International Conference on. IEEE, 2005. p. 112-114.
- [40] KELLENBERGER, Benjamin; VOLPI, Michele; TUIA, Devis. Fast animal detection in UAV images using convolutional neural networks. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2017 IEEE International. IEEE, 2017. p. 866-869.
- [41] KARLSSON, Johannes; REN, Keni; LI, Haibo. Tracking and identification of animals for a digital zoo. In: Proceedings of the 2010 IEEE/ACM Int'l Conference on Green Computing and Communications & Int'l Conference on Cyber, Physical and Social Computing. IEEE Computer Society, 2010. p. 510-515.
- [42] Datasheet na sensor :HTPA80x64d . heimannsensor[online datasheet],2017-02-14 [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <[https://www.heimannsensor.com/Datasheets/Overview-HTPA80x64d\\_Rev8.pdf](https://www.heimannsensor.com/Datasheets/Overview-HTPA80x64d_Rev8.pdf)>
- [43] <https://www.isoproc.be/images/uploads/products/Flir/i/i7-technische-fiche-technique-flir-camera-thermographie-thermographie-EN.pdf>>
- [44] Datasheet. mouser [online datasheet], 21.09.2019 , [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <<https://www.mouser.com/ds/2/813/HCSR04-1022824.pdf>>
- [45] Datasheet. Yitechnology [online datasheet], 24.03.2019 , [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <<https://www.yitechnology.com/yi-action-camera-specs>>
- [46] CMOS vs.CCD Netcam [online článek],26.03.2019 , [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <<https://netcam.cz/encyklopedie-ip-zabezpeceni/obrazove-snimace-ccd-cmos.php>>
- [47] How to Use Background Subtraction Methods [online článek], 2016-12-23 [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <[https://docs.opencv.org/3.2.0/d1/dc5/tutorial\\_background\\_subtraction.html](https://docs.opencv.org/3.2.0/d1/dc5/tutorial_background_subtraction.html)>
- [48] HC-SR04 ultrasonic sensor [online uživatelský tutorial], 2016-12-23 [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <<https://www.acmesystems.it/HC-SR04>>
- [49] RUUSKA, Salla, et al. Validation of a pressure sensor-based system for measuring eating, rumination and drinking behaviour of dairy cattle. Applied Animal Behaviour Science, 2016, 174: 19-23.
- [50]
- [51] Модификации оптических датчиков. teko [online], 13.06.2018 , [cit.2019-01-03]. Dostupne z URL: <<http://teko.by/catalog-opticheskie-datchiki>>

- [52] Analyze a Soccer game using Tensorflow Object Detection and OpenCV [online uživatelský materiál], 15.12.2018 , [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://towardsdatascience.com/analyse-a-soccer-game-using-tensorflow-object-detection-and-opencv-e321c230e8f2>>
- [53] Datasheet. FLIR I7 octopart [online uživatelský tutorial], 30.11.2018 , [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://octopart.com/flir+i7-flir-22030840>>
- [54] Obraz [online obraz], 19.09.2018 [cit.2019-05-15]. Dostupné : Datasheet. FLIR I7 octopart [online], [cit.2019-01-03]. Dostupné z: <https://octopart.com/flir+i7-flir-22030840>
- [55] HORÁK, Karel, et al. Počítačové vidění. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2008.
- [56] Segmentace obrazu [online článek], 15.05.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Segmentace\\_obrazu](https://cs.wikipedia.org/wiki/Segmentace_obrazu)>
- [57]
- [58] Obraz [online obraz], 11.07.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.mathworks.com/help/images/ref/graythresh.html>>
- [59] Find the Center of a Blob [online], 13.02.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.learnopencv.com/find-center-of-blob-centroid-using-opencv-cpp-python/>>
- [60] Image Aquisition Toolbox 16.03.2018 [online uživatelský tutorial], [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://matlab.ru/products/image-acquisition-toolbox>>
- [61] Obraz „Image Aquisition Toolbox“ [online], 14.04.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <[https://www.google.com/search?q=Image+Acquisition+Toolbox&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwipsZHxpqDiAhUtwqYKHfGmDMkQ\\_AUIDigB&biw=1920&bih=903#imgrc=3BIInZ3w7s3muM:>](https://www.google.com/search?q=Image+Acquisition+Toolbox&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwipsZHxpqDiAhUtwqYKHfGmDMkQ_AUIDigB&biw=1920&bih=903#imgrc=3BIInZ3w7s3muM:>)>
- [62] Kamera Microsoft HD Lifecam-studio [online uživatelský materiál], 17.01.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.microsoft.com/accessories/cs-cz/products/webcams/lifecam-studio/q2f-00004>>
- [63] Pyhon [online uživatelský materiál], 27.05.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.python.org/downloads/>>
- [64]
- [65] OpenCV [online], 26.09.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://opencv.org/>>
- [66]



- [67] Python[online článek], 21.09.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://ru.wikipedia.org/wiki/Python>>
- [68] Laptop Asus [online online uživatelský manuál], 30.11.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.asus.com/Laptops/X555LN/>>
- [69] Windows 10 home [online uživatelský materiál], 06.12.2019 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.microsoft.com/cs-cz/p/windows-10-home/d76qx4bznwk4/1NT3>>
- [70] Numpy článek [online], 15.09.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://naucse.python.cz/lessons/intro/numpy/>>
- [71] Getting Started with Videos [online uživatelský materiál], 18.03.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <[https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py\\_tutorials/py\\_gui/py\\_video\\_display/py\\_video\\_display.html](https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_gui/py_video_display/py_video_display.html)>
- [72] Mouse as a Paint-Brush In: docs.opencv.org [online článek], 22.08.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <[https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py\\_tutorials/py\\_gui/py\\_mouse\\_handling/py\\_mouse\\_handling.html](https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_gui/py_mouse_handling/py_mouse_handling.html)>
- [73] Contour features In: docs.opencv.org [online článek], 11.06.2018 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <[https://docs.opencv.org/3.1.0/dd/d49/tutorial\\_py\\_contour\\_features.html](https://docs.opencv.org/3.1.0/dd/d49/tutorial_py_contour_features.html)>
- [74] Kushashwa Ravi Shrimali .Convex Hull using OpenCV in Python and C++.In: learnopencv.com [online článek],13.08.2019 [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.learnopencv.com/convex-hull-using-opencv-in-python-and-c/>>
- [75] Matlab2019 .In: mathworks.com [online uživatelský materiál], [cit.2019-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.mathworks.com/downloads/>>
- [76] EUCLIDEAN DISTANCE. In: .wikipedia.org [online materialy], 29 07 2019 [cit.2019-08-08]. Dostupné z URL: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean\\_distance](https://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean_distance)>
- [77] Computer vision, graphics, and image processing. New York, N.Y.: Academic Press, 1990. ISSN 0734-189X.
- [78] JAN, Jiří. Číslíková filtrace, analýza a restaurace signálů. 2. upr. a rozš. vyd. Brno: VUTUM, 2002. ISBN 80-214-1558-4.

# Přílohy :

**Souhrnná tabulka publikovaných monitorovacích systémů**

Článek	typ kamery nebo název	sledov aný objekt	V reáln em času (ano/ ne)	DOI	dodateč ný stress
KYME, André, et al. 2014 [9]	monochrome Flea2 CCD kamery. PET	myš	ne	10.1109/TMI.2014.2332821	ne
KALAFATIC 2003[10].	(e.g 320x240 or more pixelu ve 25 snímcích za sekundu)	myš		10.1109/EURCON.2003.1248176	ne
ZHU, Qiming, et al.2003[11].	kinect	prase	ne	10.1109/CIT/IUCC/DASC/PI COM.2015.172	ne
GODDARD, J. S., et al.2008[12].	Siemens MicroCAT II	myš	ano	10.1109/NSSMIC.2008.4774475	ano(ma rkéry na hlavě)
NIE, Yuman, et al. 2011[13].	HFR video kamera (INCS1010)	myš	ne	10.1109/ICRA.2011.5979791	
MAGHSOUDI, O. Haji, et al.2015[14].	Digitální kamera	myš	ne	10.1109/SPMB.2015.7405456	ne
GODDARD, J. S., et al.2010[15].	Digitální kamera	myš	ne	10.1109/NSSMIC.2010.5874306	ne
MIRANDA, Alan, et al.2017[16].	Digitální kamera	myš	ne	10.1109/TMI.2017.2667889	ne
XU, Qi, et al.2010[17].	Digitální kamera	myš	ne	10.1109/ICOIP.2010.327	ne
GUNAY, A.; GEDIKLI, E.; EKINCI, M.2006[18].	Digitální kamera	myš	ano	10.1109/SIU.2006.1659872	ne
ISHII, Hiroyuki, et al.2007[19].	Fixovaná CCD kamera (rozlišení: 512×440 [pixel]) kamera z normálními čočkami (f=2.6 [mm])	myš	ne	10.1109/IROS.2007.4399587	ne

KIM, Cheol-Hu, et al.2017[20].	Digitální kamera a barevné označené trasování MATLAB (The Mathworks Inc., USA)	kapr	ne	DOI: <a href="https://doi.org/10.12989/ose.2017.7.1.039">https://doi.org/10.12989/ose.2017.7.1.039</a>	ano(vibrační helma)
BILODEAU, Guillaume-Alexandre, et al 2011[21].	thermo Digitální kamera	myš	ne	10.1109/CVPRW.2011.5981685	ne
KAWABATA, Kuniaki, et al.2013[22].	CCD Kamera	hmyz	ano	<a href="https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.04.021">https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.04.021</a>	robot
JEYA, Logan; ZELEK, John.2016[23].	Kinect V2 sensory	koně	ano	10.1109/CRV.2016.70	ne
BURGHARDT, Tilo; CALIC, Janko[24].	Digitální kamera	lev	ano	10.1109/NEUREL.2006.341167	ne
JOBBÁGY, Á., et al.1995[25].	Kamera 50 snimcich/sekundu)	potkan	ne	10.1109/19.997842	marker y
THIELE, Johannes, et al.2008[26].	bezdrátový sensor	krysa	ne	10.1109/ICSSENS.2008.4716540	sensor
HORNER, Angela M.; RUSS, David W.; BIKNEVICIUS, Audrone R. 2011[27].	JVC GR DVL 9800 Mini DV camcorder	krysa	ne	10.1242/jeb.055087	ne
BROWN, Georjean DS, et al.2017[28].	termální a visuální kamera	krysa	ne	10.1109/HNICEM.2017.8269527	ne
Catching a Rat by Its Edglets[29].	Digitální kamera	krysa	ne	10.1109/TIP.2012.2221726	ne
FARAH, Rana; LANGLOIS, JM Pierre; BILODEAU, Guillaume-Alexandre. 2013[30].	Digitální kamera	potkan	ne	10.1109/SIU.2007.4298668	ne
ATLI, A. Volkan, et al.2007[31].	Digitální kamera	kráva	ne	10.1109/SOLI.2014.6960721	ne

KAIYAN, Lin, et al. 2012[32].	CCD Kamera	různé druhy	ano	-	ne
KALAFATIC, Zoran.2003[33].	Digitální kamera (320x240 nebo víc pixelu ve 25 snímčích za sekundu)	myš	ne	10.1109/EURCON.2003.1248176	ne
COHEN, Charles J.; HAANPAA, Doug; ZOTT, James P. 2015[34].	Basler Camera: POE Area Scan Camera, 2529 × 1944 14 fps, GigE, Color, C-Mount, 1/2.5" CCD Sensor, P/N acA2500-14gc, S/N 21261959	různé druhy	ne	10.1109/AIPR.2015.7444526	ne
RISSE, Benjamin, et al.2017[35].	Pohybující nebo statická Digitální kamera		ne	10.1109/ICCVW.2017.335	ne
DUQUE, Duarte.2018[36].	3D sensor, Digitální kamera	myš	ano	10.1109/SeGAH.2018.8401380	ne
NAIR, M. Revathy; DEEPA, D.; ANEESH, R. P. 2016[37].	Digitální kamera a laser	člověk	ano	10.1109/ICNGIS.2016.7854018	ne
ZELEK, John S.; BULLOCK, Dave. 2001[38].	Digitální kamera	různé druhy	ano	10.1109/ICCV.2001.937713	ne
OSMAN, Sara Mohammed; ABUBAKAR, Syed AR. 2005[39].	Digitální kamera	různé druhy	ne	10.1109/CCSP.2005.4977170	ne
KELLENBERGER, Benjamin; VOLPI, Michele; TUIA, Devis. 2017[40].	Digitální kamera	různé druhy	ano	10.1109/IGARSS.2017.8127090	ne
KARLSSON, Johannes; REN,	Digitální kamera	různé druhy	ne	10.1109/GreenCom-CPSCCom.2010.69	ano ušni

Keni; LI, Haibo. 2010[41].					RFID transpo nder
-------------------------------	--	--	--	--	-------------------------